

5

10

**СПОСОБ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЙ КУСКОВОЙ  
СЕПАРАЦИИ СЫРЬЯ (ВАРИАНТЫ) И УСТРОЙСТВО ДЛЯ  
ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ (ВАРИАНТЫ)**

Взаимосвязанная группа изобретений относится к способам  
15 и устройствам кусковой сепарации сырья и может быть  
использована для обогащения руд черных и цветных металлов,  
горно-химического сырья, вторичного сырья и техногенных  
отходов.

Известен способ термографирования для исследования  
20 структуры и инородных включений в исследуемом объекте.  
Способ заключается в том, что перед термографированием  
объект разогревается индукционными токами. Вследствие этого  
элементы структуры и инородные объекты имеют повышенную  
температуру. С помощью тепловизора формируется  
25 профилограмма, с информацией о средней температуре объекта  
и генерируются сигналы координатной привязки от датчика. На

основании определения участков с превышением температуры, определяется наличие структурных элементов, а также инородных включений в объекте. (Тепловизор – дефектоскоп «Статор – 1» М.М. Мирошников, Г.А. Падалко и др.// Оптико-механическая. Промышленность – 1979. -№12- с.17-18).

Недостатком такого способа является невозможность получения количественной оценки структурных элементов и инородных включений.

Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа является способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия полезного компонента, сравнение массовой доли полезного компонента в куске с ее пороговой величиной и по полученному результату разделение кусков на полезный продукт и пустую породу (АС СССР №1570777, МПК<sup>5</sup> В 03 В 13 /06, БИ №22, 1990).

Недостатком такого способа является низкая избирательность, так как кусок сырья облучается электромагнитным ионизирующим (гамма) излучением интенсивность которого при отражении от куска пропорциональна усредненной плотности материала куска, и не позволяет напрямую определять массу куска и массовую долю полезного компонента в нем. В результате ухудшается качество кусковой сепарации, что приводит к засорению полезного продукта при сортировке, увеличению содержания полезного

компонента в хвостах обогащения, и в конечном итоге, повышению затрат при дальнейшей ее переработке.

Известно устройство для термографирования, обеспечивающее выявления нарушения структуры и наличие  
5 инородных включений в исследуемом объекте. (Тепловизор-дефектоскоп «Статор – 1» М.М. Мирошников, Г.А. Падалко и др.// Оптико-механическая промышленность – 1979. - №12 - с. 17-18). Устройство включает в себя установку излучения электромагнитного поля сверхвысокой частоты с системой  
10 управления, датчики остаточного излучения, вычислительное устройство с входным интерфейсом, термограф в виде тепловизора с возможностью формирования профилограмм, с информацией о средней температуре исследуемого образца и сигналов координатной привязки.

15 Недостатком такого устройства является невозможность получения количественных показателей оценки нарушения структуры и инородных включений в исследуемом объекте.

Наиболее близким устройством, принятым в качестве прототипа, является устройство термографической кусковой  
20 сепарации сырья, содержащее устройство дозированной подачи кусков, состоящее из приемного бункера, шнекового питателя с электроприводом; конвейера с электроприводом, установку электромагнитного излучения сверхвысокой частоты с системой ее управления, датчики наведенного излучения, вычислительное  
25 устройство с входным интерфейсом (АС СССР №1570777, МПК<sup>5</sup> В 03 В 13 /06, БИ №22, 1990).

Недостатком такого устройства является низкая избирательность, так как интенсивность излучения будет

определятся только наличием полезной составляющей, но не дает возможность определить его количество в куске. В результате ухудшается качество сепарации, что приводит к увеличению разубоживания размолотого сырья, повышению затрат и  
5 снижению эффективности дальнейшего процесса обогащения в целом.

В основу группы изобретений поставлена задача усовершенствования способа и устройства кусковой сепарации за счет создания условий для определения количественных  
10 показателей содержания полезного компонента в исходном сырье, учета геометрических параметров контролируемых кусков и регламентированного их облучения энергией сверхвысокой частоты. Решение поставленной задачи основано на том, что кусок, содержащий полезный компонент и пустую  
15 породу, которые обладают различными электрическими, магнитными и теплофизическими свойствами, подвергают облучению электромагнитным полем сверхвысокой частоты. Частота излучения выбирается таким образом, чтобы глубина проникновения электромагнитной волны была больше, чем  
20 максимальный линейный размер куска при максимальном затухании электромагнитной волны, зависящем от свойств материала куска. Энергия сверхвысокочастотного электромагнитного излучения, поглощенная материалом куска, вызовет нагрев компонентов куска до температуры  
25 обусловленной их электрическими, магнитными и теплофизическими свойствами. При этом компонент, который обладает более высокой электропроводностью, за один и тот же промежуток времени, будет поглощать СВЧ энергии больше,

чем компонент с более низкой электропроводностью. В результате температура нагрева полезного компонента и пустой породы, по окончании СВЧ облучения, будет различной. После окончания действия электромагнитного излучения, в течении  
5 некоторого времени, происходит передача тепловой энергии от более нагретого компонента к менее нагретому. При этом характер изменения температуры куска будет зависеть от массового соотношения в куске компонентов с различными электрическими, магнитными и теплофизическими свойствами.

10 Характер изменения температуры куска во времени может регистрируется термографической системой. Характер изменения температуры куска во времени может регистрироваться термографической системой. Термографическая система представляет собой устройство,  
15 способное в реальном масштабе времени преобразовывать тепловое излучения от отдельных смежных участков источника теплового излучения в соответствующий сигнал, представляющий тепловую картину источника теплового излучения, который можно было бы вводить в вычислительное  
20 устройство для последующей обработки. Примером термографической системы может являться тепловизор. При обработке полученного теплового изображения контролируемого куска позволяет определить соотношения распределений компонентов с различными электрическими,  
25 магнитными и теплофизическими свойствами в объеме контролируемого куска.

Это обеспечит более точное определение свойств контролируемых кусков, позволит повысить эффективность

сепарации и дальнейшего технологического процесса обогащения и переработки горнорудного и горно-химического сырья, вторичного сырья и техногенных отходов.

- 5 **Первое изобретение** поставленную задачу решает за счет того, что способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия
- 10 полезного компонента, сравнение массовой доли полезного компонента в куске с ее пороговой величиной и по полученному результату разделение кусков на полезный продукт и пустую породу.

- Согласно изобретению, каждый кусок сырья облучают
- 15 электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, затем после прекращения облучения и затухания теплообменных процессов между компонентами контролируемого куска, фиксируют тепловую картину контролируемого куска по которой сначала определяют среднюю температуру контролируемого
- 20 куска, а затем определяют массовую долю полезного компонента в контролируемом куске по формуле:

$$Q = \frac{(T_U - T_O)c}{U_O c_r - T_U (c_r - c) - T_O c},$$

где:

$Q$  -массовая доля полезного компонента в куске ( %);

- 25  $T_U$  - измеренная установившаяся температура контролируемого куска (  $^{\circ}K$ );

$T_o$  - температура нагрева пустой породы ( $^{\circ}K$ );

$U_o$  - температура нагрева полезного компонента ( $^{\circ}K$ );

$C_r$  - теплоемкость полезного компонента ( $\frac{Дж}{^{\circ}K \cdot кг}$ );

$C$  - теплоемкость пустой породы ( $\frac{Дж}{^{\circ}K \cdot кг}$ );

5 и проверяют условие

$$Q \geq Q_{пор}$$

где:

$Q_{пор}$  - пороговое значение массовой доли полезного компонента в куске (%)

10 после чего по полученному результату осуществляют сепарации кусков сырья двумя потоками один из кусков с содержанием полезного компонента меньше порогового значения его массовой доли, а другой поток из кусков с содержанием полезного компонента не менее порогового значения его  
15 массовой доли.

Решение задачи первым из группы изобретений основано на избирательном нагреве компонент контролируемого куска электромагнитным полем сверхвысокой частоты и спустя некоторое время, необходимое для затухания теплообменных  
20 процессов между компонентами куска, контроле средней установившейся температуры куска, которая будет пропорциональна соотношению масс компонентов контролируемого куска. Способ может использоваться для кусковой сепарации исходного сырья с любой структурой

физических взаимосвязей компонент в куске. Способ характеризуется невысоким быстродействием, определяемым временем затухания теплообменных процессов между компонентами куска.

5 Первое изобретение может быть использовано для термографической кусковой сепарации сырья представленного в виде кусков определенного гранулометрического состава с любой структурой физических взаимосвязей фаз компонентов в куске.

10 Второе изобретение поставленную задачу решает за счет того, что способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия  
15 полезного компонента, сравнение массовой доли полезного компонента в куске с ее пороговой величиной и по полученному результату разделение кусков на полезный продукт и пустую породу.

Согласно изобретению, каждый кусок сырья облучают  
20 электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, а затем после прекращения облучения, до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска, фиксируют тепловую картину куска по которой определяют его среднюю температуру, а затем определяют объемный  
25 коэффициент концентрации полезного компонента в куске по формуле:



$$\nu = \frac{2T_c - \frac{U_o \cdot T_o}{T_c} - 2T_o + U_o}{3(U_o - T_o)};$$

где

$\nu$  - объемный коэффициент концентрации полезного компонента;

5  $T_c$  - измеренная средняя температура контролируемого куска ( $^{\circ}K$ ),

$U_o$  - температура нагрева полезного компонента ( $^{\circ}K$ );

$T_o$  - температура нагрева пустой породы ( $^{\circ}K$ );

и проверяют условие

10  $\nu > \nu_{пор};$

где:

$\nu_{дон}$  - пороговое значение объемного коэффициента концентрации полезного компонента.

после чего по полученному результату осуществляют сепарации  
 15 кусков сырья двумя потоками. Один поток из кусков с содержанием полезного компонента меньше порогового значения его объемного коэффициента концентрации полезного компонента, а другой поток из кусков с содержанием полезного компонента не менее порогового значения его объемного  
 20 коэффициента концентрации полезного компонента.

Решение задачи вторым из группы изобретений основано на нагреве компонент контролируемого куска электромагнитным полем сверхвысокой частоты и контроле средней температуры куска в любой не нулевой момент времени после прекращения

воздействия на него электромагнитного поля, находящийся в интервале времени от момента прекращения воздействия электромагнитного поля до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска, которая будет

5 пропорциональна соотношению объемов компонентов контролируемого куска. Способ может использоваться для кусковой сепарации исходного сырья с однородной (квазиизотропной) структурой физических взаимосвязей компонент в куске. Быстродействие способа определяется

10 временем нагрева компонент контролируемого куска в электромагнитном поле сверхвысокой частоты.

Второе изобретение может быть использовано для термографической кусковой сепарации сырья представленного в виде кусков определенного гранулометрического состава с

15 однородной структурой физических взаимосвязей объемов компонент в куске

Третье изобретение поставленную задачу решает за счет того, что способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение

20 их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия полезного компонента, сравнение массовой доли полезного компонента в куске с ее пороговой величиной и по полученному результату разделение кусков на полезный продукт и пустую

25 породу.

Согласно изобретению, каждый кусок сырья облучают электромагнитным излучением сверхвысокой частоты в течении времени, определяемом по выражению:

$$t_n = \frac{\Delta T c_r \rho_r}{f \pi \varepsilon_0 \varepsilon_r E_m^2 \operatorname{tg} \delta_r};$$

где:

$t_n$  - время воздействия электромагнитного СВЧ излучения на контролируемый кусок (секунды);

5  $\Delta T$  - требуемое повышение температура нагрева полезного компонента ( $^{\circ}K$ );

$c_r$  - теплоемкость полезного компонента ( $\frac{Дж}{^{\circ}K \cdot кг}$ );

$\rho_r$  - плотность полезного компонента ( $\frac{кг}{м^3}$ );

$f$  - частота колебаний СВЧ электромагнитного поля (Гц);

10  $\varepsilon_0$  - электрическая постоянная, равная  $8,8541878 \cdot 10^{-12} \frac{Ф}{м}$ ;

$\varepsilon_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость полезного компонента;

$E_m$  - напряженность электрического поля СВЧ электромагнитного поля ( $\frac{В}{м}$ );

15  $\operatorname{tg} \delta_r$  - тангенс диэлектрических потерь полезного компонента,

а затем после прекращения облучения, до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска, фиксируют тепловую картину куска, по которой определяют среднее превышение температуры нагрева в СВЧ пеле, а затем определяют массовую долю полезного компонента в контролируемом куске по формуле:

20

$$Q = \frac{\rho_r A e}{\rho_r A e - \rho A e_r},$$

где:

$$A e = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_t g \delta t_H - \Delta T_C \rho c$$

пустой породы;

$$5 \quad A e_r = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r t g \delta_r t_H - \Delta T_C \rho_r c_r \quad - \quad \text{вспомогательный}$$

параметр полезного компонента;

$Q$  - массовая доля полезного компонента в контролируемом куске;

$\Delta T_C$  - среднее превышение температуры нагрева  
10 контролируемого куска ( $^{\circ}K$ );

$\rho$  - плотность пустой породы ( $\frac{кг}{м^3}$ );

$\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость пустой породы;

$t g \delta$  - тангенс диэлектрических потерь пустой породы.

15 и проверяется условие:

$$Q > Q_{пор};$$

где:

$Q_{пор}$  - пороговое значение массовой доли полезного компонента;

20 после чего по полученному результату осуществляют сепарации кусков сырья двумя потоками - один из кусков с содержанием полезного компонента меньше порогового значения его массовой доли, а другой поток - из кусков с содержанием

полезного компонента не менее порогового значения его массовой доли.

Решение задачи третьим из группы изобретений основано на нагреве компонент контролируемого куска электромагнитным полем сверхвысокой частоты и контроле средней температуры куска в любой не нулевой момент времени после прекращения воздействия на него электромагнитного поля, находящийся в интервале времени от момента прекращения воздействия электромагнитного поля до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска, которая будет пропорциональна соотношению масс компонентов контролируемого куска. Способ может использоваться для кусковой сепарации исходного сырья с однородной (квазиизотропной) структурой физических взаимосвязей компонент в куске. Быстродействие способа определяется временем нагрева компонент контролируемого куска в электромагнитном поле сверхвысокой частоты.

Третье изобретение может быть использовано для термографической кусковой сепарации сырья представленного в виде кусков определенного гранулометрического состава с однородной структурой физических взаимосвязей фаз компонентов в куске.

Четвертое изобретение поставленную задачу решает за счет того, что способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия полезного компонента, сравнение массовой доли

полезного компонента в куске с ее пороговой величиной и по полученному результату разделение кусков на полезный продукт и пустую породу.

Согласно изобретению, каждый кусок сырья облучают электромагнитным излучением, частота которого определяют по формуле:

$$f \leq \frac{1}{\pi \cdot X_m \cdot \sqrt{2\varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \mu_r (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_r} + 1)}}, (\text{Гц})$$

где:

$X_m$  - максимальный линейный размер куска (м);

$\varepsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12}$  - электрическая постоянная (Ф/м);

$\varepsilon_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость полезного компонента;

$\mu_0 = 1,25663706 \cdot 10^{-6}$  - магнитная постоянная (Гн/м);

$\mu_r$  - относительная магнитная проницаемость полезного компонента;

$\operatorname{tg} \delta_r$  - тангенс диэлектрических потерь полезного компонента,

а время нагрева определяют по формуле:

$$t_n = \frac{\Delta T c_r \rho_r}{f \pi \varepsilon_0 \varepsilon_r E_m^2 \operatorname{tg} \delta_r}; (с)$$

где:

$\Delta T$  - требуемое повышение температура нагрева полезного компонента( $^{\circ}K$ );

$C_r$  - удельная теплоемкость полезного компонента ( $Дж/^{\circ}K \cdot кг$ );

5  $\rho_r$  - плотность полезного компонента ( $кг/м^3$ );

$\varepsilon_r$  - относительная электрическая проницаемость полезного компонента;

$E_m$  - напряженность электромагнитного поля ( $В/м$ ),

10 после чего с момента прекращения воздействия электромагнитного поля до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска, неоднократно фиксируют тепловые картины куска, по которым определяют средние температуры контролируемого куска, а на основании полученных данных составляют систему уравнений

$$15 \quad \begin{cases} T_0 = X_1 + X_2 t_0 + X_3 t_0^2 + X_4 t_0^3 \\ T_1 = X_1 + X_2 t_1 + X_3 t_1^2 + X_4 t_1^3 \\ T_2 = X_1 + X_2 t_2 + X_3 t_2^2 + X_4 t_2^3 \\ T_3 = X_1 + X_2 t_3 + X_3 t_3^2 + X_4 t_3^3 \end{cases}$$

где:

$T_0, T_1, T_2, T_3$  - средняя температура куска, определенная в

моменты времени  $t_0, t_1, t_2, t_3$ .

и решают ее относительно  $X_1, X_2, X_3, X_4$ , после чего определяют

20 коэффициент объемного заполнения полезного компонента по формуле:

$$Kv = \frac{c\rho(X_3ac_r\rho_r + 3X_2k_r)}{c\rho(X_3ac_r\rho_r + 3X_2k_r) - 3X_2c_r\rho_rk},$$

где:

$C$  - теплоемкость пустой породы ( $\text{Дж}/^\circ\text{К} \cdot \text{кг}$ );

$\rho$  - плотность пустой породы ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );

5  $a$  - размер зерна полезного компонента ( $\text{м}$ ).

$k_r$  - коэффициент теплоотдачи полезного компонента ( $\text{Вт}/^\circ\text{К} \cdot \text{м}^2$ );

$k$  - коэффициент теплоотдачи пустой породы ( $\text{Вт}/^\circ\text{К} \cdot \text{м}^2$ );

и проверяют условие

10 
$$Kv > Kv_{\text{пор}}$$

где:

$Kv_{\text{пор}}$  - пороговое значение коэффициент объемного заполнения полезного компонента.

а по полученному результату осуществляют сепарацию кусков  
 15 сырья двумя потоками один из кусков с содержанием полезного компонента меньше порогового значения его коэффициента объемного заполнения полезного компонента, а другой поток из кусков с содержанием полезного компонента не менее порогового значения его коэффициента объемного заполнения  
 20 полезного компонента.

Решение задачи четвертым из группы изобретений основано на нагреве компонент контролируемого куска электромагнитным полем сверхвысокой частоты и многократном контроле средней температуры куска в любые не совпадающие момент времени,  
 25 находящиеся в интервале времени от момента прекращения



воздействия электромагнитного поля до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска. По полученным данным в результате многократного контроля, определяется соотношение объемов фаз компонентов контролируемого куска. Способ может использоваться для кусковой сепарации исходного сырья с любой структурой физических взаимосвязей компонент в куске. Быстродействие способа определяется временем нагрева компонент контролируемого куска в электромагнитном поле и временем многократного контроля температуры куска.

Четвертое изобретение может быть использовано для термографической кусковой сепарации сырья представленного в виде кусков определенного гранулометрического состава с однородной и не однородной структурой физических взаимосвязей объемов компонент в куске.

Пятое изобретение поставленную задачу решает за счет того, что способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия полезного компонента, сравнение массовой доли полезного компонента в куске с ее пороговой величиной и по полученному результату разделение кусков на полезный продукт и пустую породу.

Согласно изобретению, каждый кусок сырья облучают электромагнитным излучением сверхвысокой частоты до нагрева компонентов куска, а после прекращения воздействия электромагнитного излучения, термографической системой

фиксируют температурную картину куска после прекращения воздействия электромагнитного поля до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска, при этом по полученной тепловой картине определяют разность максимальной и минимальной температуры куска, а по разности максимальной и минимальной температуры и известному интервалу времени от момента прекращения воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты до момента регистрации теплового изображения куска, определяют массовую долю полезного компонента в куске, в соответствии с формулой:

$$Q = \frac{cc_r \ln \left( \frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_K)} \right) - \frac{6k_r c t_K}{a \rho_r}}{cc_r \ln \left( \frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_K)} \right) + \frac{6(kc_r - k_r c) t_K}{a \rho_r}};$$

где:

$Q$  - массовая доля полезного компонента в контролируемом куске;

$U_o$  - температура нагрева полезного компонента ( $^{\circ}K$ );

$T_o$  - температура нагрева пустой породы ( $^{\circ}K$ );

$\rho_r$  - плотность полезного компонента ( $\frac{кг}{м^3}$ );

$c_r$  - теплоемкость полезного компонента ( $\frac{Дж}{^{\circ}K \cdot кг}$ );

$c$  - теплоемкость пустой породы ( $\frac{Дж}{^{\circ}K \cdot кг}$ );

$k_r$  – коэффициент теплоотдачи полезного компонента ( $\frac{Вт}{^{\circ}K \cdot м^2}$ );

$k$  – коэффициент теплоотдачи пустой породы ( $\frac{Вт}{^{\circ}K \cdot м^2}$ );

$t_K$  – интервалу времени от момента прекращения  
5 воздействия СВЧ электромагнитного поля до момента  
регистрации теплового изображения (секундах);

$a$  – размер зерна полезного компонента в контролируемом  
куске (м);

$\Delta T(t_K)$  – разность максимальной и минимальной  
10 температуры контролируемого куска в момент регистрации  
теплового изображения контролируемого куска ( $^{\circ}K$ ),  
и проверяется условие:

$$Q \geq Q_{пор}$$

где:

15  $Q_{пор}$  – пороговое значение массовой доли полезного  
компонента;

после чего по полученному результату осуществляют сепарации  
кусков сырья двумя потоками один из кусков с содержанием  
полезного компонента меньше порогового значения его  
20 массовой доли, а другой поток из кусков с содержанием  
полезного компонента не менее порогового значения его  
массовой доли.

Решение задачи пятым из группы изобретений основано на  
нагреве компонент контролируемого куска электромагнитным

полем сверхвысокой частоты и контроле разности максимальной и минимальной температур контролируемого куска в фиксированный момент времени после прекращения воздействия на него электромагнитного поля, находящийся в интервале времени от момента прекращения воздействия электромагнитного поля до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска. Полученная разность температур будет пропорциональна соотношению масс компонентов контролируемого куска. Способ может использоваться для кусковой сепарации исходного сырья с не однородной равномерно распределенной структурой физических взаимосвязей компонент в объеме куска. Быстродействие способа определяется временем нагрева компонент контролируемого куска в электромагнитном поле сверхвысокой частоты.

Пятое изобретение может быть использовано для термографической кусковой сепарации сырья представленного в виде кусков определенного гранулометрического состава с не однородной случайно распределенной структурой физических взаимосвязей фаз компонентов в куске.

**Шестое изобретение** поставленную задачу решает за счет того, что устройство термографической кусковой сепарации сырья, содержащее, устройство дозированной подачи кусков сырья, состоящее из приемного бункера, питателя с электроприводом; конвейера с электроприводом; установку электромагнитного излучения сверхвысокой частоты с системой управления, датчики наведенного излучения и вычислительное устройство с входным интерфейсом.

Согласно изобретению, устройство дополнительно содержит камеру нагрева энергией электромагнитного поля сверхвысокой частоты подсоединенную к установке излучения энергии сверхвысокой частоты, термографическую систему обработки  
5 сигналов термодатчиков наведенного теплового излучения, систему управления электроприводом питателя, валковый раскладчик, систему управления электроприводом конвейера, световой узконаправленный излучатель и фотоприемник, датчик положения, причем выход термографической системы соединен с  
10 первым входом входного интерфейса, выход которого соединен через вычислительное устройство с входом выходного интерфейса, а второй выход выходного интерфейса соединен с системой управления электроприводом питателя, третий выход выходного интерфейса соединен через систему управления  
15 установкой сверхвысокой частоты с ее входом, четвертый выход выходного интерфейса, соединен с системой управления электропривода конвейера, на валу которого установлен датчик положения, соединенный со вторым входом входного интерфейса, при этом первый выход выходного интерфейса через  
20 устройство сравнения, блок временной задержки и формирователь импульсов управления связан с электропневмоклапаном, установленным с возможностью его взаимодействия с разделительным устройством подачи в приемник кусков сырья с содержанием полезного компонента  
25 менее порогового и приемник кусков сырья с содержанием полезного компонента не менее порогового.

Решение задачи шестым из группы изобретений основано на:

1. Формировании однослойного потока сортируемого кускового материала;

2. Возбуждении в потоке теплового излучения сортируемого кускового материала с помощью  
5 высокоэнергетического электромагнитного поля сверхвысокой частоты;

3. Контроле в потоке параметров наведенного теплового излучения от каждого куска, на основании которых определяются значения параметров сортировки (например,  
10 размер, положение, вес, содержание полезного компонента и т.д.);

4. Формировании сортирующего воздействия, позволяющего изменять траекторию движения контролируемого куска в зависимости от результатов сравнения значений  
15 параметров сортировки, полученных в результате контроля, с заданными пороговыми значениями.

Шестое изобретение может быть использовано для термографической кусковой сепарации сырья представленного в виде кусков определенного гранулометрического состава,  
20 представляющих собой гетерогенную систему фаз полезного компонента и пустой породы с не однородной случайно распределенной структурой физических взаимосвязей компонент в куске.

Седьмое изобретение поставленную задачу решает за счет  
25 того, что устройство термографической кусковой сепарации сырья, содержащее устройство дозированной подачи кусков, состоящее из приемного бункера, шнекового питателя с электроприводом; конвейера с электроприводом, установку

электромагнитного излучения сверхвысокой частоты с системой ее управления, датчики наведенного излучения, вычислительное устройство с входным интерфейсом.

Согласно изобретению, устройство дополнительно  
5 содержит камеру нагрева энергией электромагнитного поля сверхвысокой частоты подсоединенную через элемент ввода энергии сверхвысокой частоты к установке излучения энергии сверхвысокой частоты, причем в камере нагрева размещен  
10 валковый раскладчик, состоящий из валков из термостойкого диэлектрика, между которыми расположены элементы замедляющей гребенки с шагом равным  $\frac{1}{4}$  длины волны электромагнитного излучения сверхвысокой частоты, а узел выгрузки камеры нагрева энергией сверхвысокой частоты  
15 снабжен ловушкой энергии сверхвысокой частоты с четвертьволновыми отражательными элементами, кроме того устройство содержит термографическую систему обработки сигналов, систему управления электроприводом шнекового питателя, систему управления электроприводом конвейера, световой узконаправленный излучатель и фотоприемник, а так  
20 же датчик положения, при этом выход термографической системы соединен с первым входом входного интерфейса, выход которого соединен через вычислительное устройство с входом выходного интерфейса, второй выход выходного интерфейса соединен с системой управления электроприводом шнекового  
25 питателя, третий выход выходного интерфейса соединен через систему управления установкой излучения энергии сверхвысокой частоты с ее входом, четвертый выход выходного интерфейса соединен с системой управления электропривода

конвейера, на валу которого установлен датчик положения, соединенный со вторым входом входного интерфейса, при этом первый выход выходного интерфейса через устройство сравнения, блок временной задержки и формирователь  
5 импульсов управления связан с электропневмоклапаном, установленным так, что бы обеспечить возможностью его взаимодействия с разделительным устройством подачи в приемник кусков сырья с содержанием полезного компонента менее порогового и приемник кусков сырья с содержанием  
10 полезного компонента не менее порогового, а выход фотоприемника соединен с вторым входом устройства сравнения.

Решение задачи седьмым из группы изобретений основано на:

- 15 1. Формировании однослойного потока сортируемого кускового материала;
2. Интенсивном и равномерном возбуждении в потоке теплового излучения сортируемого кускового материала с помощью высокоэнергетического электромагнитного поля  
20 сверхвысокой частоты;
3. Повышении температуры нагрева сортируемого кускового материала за счет применения гребенчатой структуры замедляющей системы.
4. Контроле в потоке параметров наведенного теплового  
25 излучения от каждого куска, на основании которых определяются значения параметров сортировки (например, размер, положение, вес, содержание полезного компонента и т.д.);



5. Формировании сортирующего воздействия, позволяющего изменять траекторию движения контролируемого куска в зависимости от результатов сравнения значений параметров сортировки, полученных в результате контроля, с заданными пороговыми значениями.

Седьмое изобретение может быть использовано для термографической кусковой сепарации сырья представленного в виде кусков определенного гранулометрического состава, с не однородной случайно распределенной структурой физических взаимосвязей компонент в куске.

Заявляемые изобретения иллюстрируются схемами, где:

на Фиг 1 – представлена схема первого устройства для термографической кусковой сепарации сырья, его первый пример реализации;

на Фиг 2 – представлена схема первого устройства для термографической кусковой сепарации сырья, его второй пример реализации;

на Фиг 3 – представлена схема второго устройства для термографической кусковой сепарации сырья.

на Фиг 4. – представлен график изменения во времени температуры компонентов при теплообменном процессе в двухкомпонентном куске с неоднородным распределением компонент по объему куска;

на Фиг 5. – график изменения во времени разности температур компонентов при теплообменном процессе в двухкомпонентном куске с неоднородным распределением компонент по объему куска;

на Фиг 6. – график зависимости коэффициента объемного заполнения полезного компонента от массовой доли полезного компонента в контролируемом куске;

- 5        **Первый способ** может быть реализован на примере обогащения исходного металлосодержащего сырья, руд черных или цветных металлов. Заявленный способ обеспечивает сепарацию исходного сырья на два потока: один поток с содержанием полезного компонента выше заданного значения, а
- 10    другой поток с содержанием полезного компонента ниже заданного значения. Сепарации может подвергаться исходное сырье полученное как непосредственно после обрушения горной массы в цикле горных работ при добыче полезного ископаемого, так и сырье в виде горной массы подвергшейся
- 15    дополнительному дроблению до заданных размеров среднего куска.

Исходный поток сырья из дозирующего погрузочного устройства поступает на конвейер. Вычислительное устройство через выходной интерфейс формирует сигнал управления

20    устройством дозированной подачи куска на ленту конвейера и сигнал управления системой управления электропривода конвейера. Конвейер подает кусок в зону нагрева электромагнитным полем СВЧ, где обеспечивается, по команде вычислительного устройства, необходимая мощность

25    электромагнитного излучения.

Длина волны электромагнитного излучения в контролируемом веществе определяется по выражению:

$$(1) \quad \lambda = 2\pi X_m, (м);$$

где:

$\lambda$  – длина волны в контролируемом веществе (м);

$X_m$  – глубина проникновения электромагнитной волны в

5 веществе (м).

С другой стороны, длина электромагнитной волны в веществе может быть определена из выражения:

$$(2) \quad \lambda = \frac{V}{f}; (м);$$

где:

10  $V$  – фазовая скорость электромагнитной волны в данном веществе (м/с);

$f$  – частота электромагнитного излучения (Гц).

Исходя из (1) и (2) можно записать:

$$(3) \quad 2\pi X_m = \frac{V}{f};$$

15 или, решив выражение (3) относительно  $X_m$  получим:

$$(4) \quad X_m = \frac{V}{2\pi f} (м);$$

Фазовая скорость электромагнитной волны в данной среде может быть определена по выражению (см. лит. [1] стр. 167):

$$(5) \quad V = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_s \mu_0 \mu_s (\sqrt{1 + \tan^2 \delta_s} + 1)}};$$

20 где:

$\varepsilon_0$  - электрическая постоянная, равная  $8,8541878 \cdot 10^{-12}$  (Ф/м);

$\varepsilon_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость  
вещества;

$\mu_0$  - магнитная постоянная, равная  $1,25663706 \cdot 10^{-6}$  (Гн/м);

5  $\mu_r$  - относительная магнитная проницаемость вещества;

$\operatorname{tg} \delta_r$  - тангенс диэлектрических потерь вещества,

Подставляя выражение (5) в выражение (4) и выполнив  
преобразования, получим:

$$(6) \quad X_m = \frac{1}{\pi f \sqrt{2\varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \mu_r (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_r} + 1)}} .$$

10 Решив выражение (6) относительно  $f$  получим:

$$(7) \quad f = \frac{1}{\pi X_m \sqrt{2\varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \mu_r (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_r} + 1)}} .$$

Выражение (7) представляет частоту электромагнитной  
волны, для которой амплитуда напряженности электрического  
поля уменьшается в 2,71 раз при прохождении волной расстояния  
15 по направлению распространения в данном веществе равного  $X_m$ .

Частота электромагнитного СВЧ поля должна быть такой,  
чтобы обеспечить проникновение электромагнитных волн СВЧ  
излучения на некоторую глубину контролируемого куска и, с  
учетом (7), может быть определена из неравенства:

$$(8) \quad f \leq \frac{1}{\pi \cdot X_m \cdot \sqrt{2\varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \mu_r (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_r} + 1)}} ; (\Gamma \text{ч})$$

где:

$\varepsilon_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость  
полезного компонента;

$\mu_r$  - относительная магнитная проницаемость полезного  
компонента;

5  $\operatorname{tg} \delta_r$  - тангенс диэлектрических потерь полезного  
компонента,

Под действием энергии сверхвысокой частоты происходит  
нагрев куска сырья за счет поглощения им энергии СВЧ  
электромагнитного поля.

10 Удельная объемная мощность электромагнитного поля  
поглощаемая веществом определяется выражением:

$$(9) \quad W = f \pi \varepsilon_0 \varepsilon_r E_m^2 \operatorname{tg} \delta_r t_{He}, (Bm / m^3) ;$$

где:

$E_m$  - напряженность электрического поля СВЧ  
15 электромагнитного поля ( $\frac{B}{m}$ );

$t_{He}$  - время воздействия электромагнитного СВЧ излучения  
на вещество (с);

а повышение температуры единицы объема вещества будет  
определяться:

$$20 \quad (10) \quad \Delta T_s = \frac{W}{c_s \rho_s} (^{\circ}K) ;$$

где:

$\Delta T_s$  - требуемое повышение температура вещества ( $^{\circ}K$ );

$C_{\theta}$  - теплоемкость вещества (Дж/°K кг);

$\rho_{\theta}$  - плотность вещества (кг/м³).

Учитывая (9) и (10), время необходимое для повышения температуры нагрева полезного компонента на некоторую  
5 требуемую величину, может быть определено по формуле:

$$(11) \quad t_H = \frac{\Delta T \cdot c_r \rho_r}{f \pi \varepsilon_0 \varepsilon_r E_m^2 \operatorname{tg} \delta_r}$$

где:

$\Delta T$  - требуемое повышение температура нагрева полезного компонента (°K);

10  $t_H$  - время нагрева контролируемого куска в поле электромагнитного СВЧ излучения (с);

$C_r$  - теплоемкость полезного компонента (Дж/°K кг);

$\rho_r$  - плотность полезного компонента (кг/м³).

В течение времени нагрева  $t_H$  полезный компонент в куске  
15 сырья нагреется до температуры:

$$(12) \quad U_O = \frac{f \pi \varepsilon_0 \varepsilon_r E_m^2 \cdot \operatorname{tg} \delta_r}{c_r \rho_r} \cdot t_H, (°K)$$

где:

$U_O$  - температура нагрева полезного компонента в СВЧ электромагнитном поле за время  $t_H$  (°K);

20  $C_r$  - теплоемкость полезного компонента (Дж/°K кг);

$\rho_r$  - плотность полезного компонента (кг/м³).

Пустой компонент в куске сырья нагреется до температуры

$$(13) \quad T_o = \frac{f\pi\varepsilon_0\varepsilon E_m^2 \cdot \operatorname{tg} \delta}{c\rho} \cdot t_H, (^{\circ}K)$$

где:

5  $T_o$  - температура нагрева пустой породы в СВЧ электромагнитном поле за время  $t_H$  ( $^{\circ}K$ );

$c$  - теплоемкость пустой породы ( $\text{Дж}/^{\circ}K \text{ кг}$ );

$\rho$  - плотность пустой породы ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

$\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость пустой  
10 породы;

$\operatorname{tg} \delta$  - тангенс диэлектрических потерь пустой породы.

После прекращения действия электромагнитного поля процесс теплообмена между полезным компонентом и пустой породой описывается системой дифференциальных уравнений с

15 начальными условиями  $U_o$  и  $T_o$ :

$$(14) \quad \begin{cases} m_r c_r \frac{dU}{dt} = S_o k_r (T - U) \\ mc \frac{dT}{dt} = S_o k (U - T) \end{cases} ;$$

где:

$m_r$  - масса полезного компонента в контролируемом куске  
( $\text{кг}$ )

20  $m$  - масса пустой породы в контролируемом куске ( $\text{кг}$ )

$\frac{dU}{dt}$  - скорость изменения температуры полезного компонента после нагрева ( $\frac{^{\circ}K}{c}$ );

$\frac{dT}{dt}$  - скорость изменения температуры пустой породы после нагрева ( $\frac{^{\circ}K}{c}$ );

5  $U$  - текущая температура полезного компонента ( $^{\circ}K$ );

$T$  - текущая температура пустой породы ( $^{\circ}K$ );

$S_o$  - площадь теплообмена между полезным компонентом и

пустой породой определяется по формуле:  $S_o = \frac{6m_r}{a\rho_r} (m^2)$ ;

где:

10  $a$  - размер зерна полезного компонента ( $m$ );

$k$  - коэффициент теплоотдачи пустой породы ( $Bm/(^{\circ}K \cdot m^2)$ );

$k_r$  - коэффициент теплоотдачи полезного компонента ( $Bm/(^{\circ}K \cdot m^2)$ ).

Решение системы дифференциальных уравнений  
15 теплообмена между полезным компонентом и пустой породой в куске имеет вид:

$$(15) \quad U(t) = A_0 e^{p_0 t} - \frac{mk_r c}{m_r k c_r} A_1 e^{p_1 t}$$

$$(16) \quad T(t) = A_0 e^{p_0 t} + A_1 \cdot e^{p_1 t}$$

где:

20  $A_0, A_1$ , - постоянные коэффициенты определяются по формулам:



$$(17) \quad A_0 = \frac{mk_r c T_0 + m_r k c_r U_0}{m_r k c_r + m k_r c} \quad [^{\circ}K];$$

$$(18) \quad A_1 = \frac{m_r k c_r (T_0 - U_0)}{m_r k c_r + m k_r c} \quad [^{\circ}K];$$

Характеристическое уравнение:

$$(19) \quad p \cdot \left( p + \frac{6km_r}{ac\rho_r m} + \frac{6k_r}{ac_r \rho_r} \right) = 0$$

5      Корни характеристического уравнения  $p_0, p_1$

$$(20) \quad p_0 = 0;$$

$$(21) \quad p_1 = -\frac{6}{a\rho_r} \cdot \left( \frac{m_r k}{mc} + \frac{k_r}{c_r} \right) \left[ \frac{1}{c} \right]$$

Окончательно, решение системы дифференциальных уравнений (14) будет;

$$10 \quad (22) \quad U(t) = A_0 - \frac{mk_r c}{m_r k c_r} A_1 e^{p_1 t}$$

$$(23) \quad T(t) = A_0 + A_1 \cdot e^{p_1 t}$$

График изменения во времени температуры полезного компонента  $U(t)$  (кривая 56) и пустой породы  $T(t)$  (кривая 57) при теплообменном процессе в куске с неоднородным распределением компонент по объему представлен на Фиг 4.

15      Установившееся значение температуры нагретого куска будет определяться по формуле;

$$T_U = A_0 = \frac{U_o + \frac{m}{m_r} \cdot \frac{k_r c}{k c_r} \cdot T_o}{1 + \frac{m}{m_r} \cdot \frac{k_r c}{k c_r}} [^{\circ}K];$$

(24)

где:

$T_U$  - температура контролируемого куска после завершения внутренних теплообменных процессов между компонентами куска (установившаяся температура нагрева контролируемого куска) ( $^{\circ}K$ ).

Учитывая то, что при равновесном теплообмене  $k = k_r$ , решим уравнение (24) относительно  $\frac{m}{m_r}$ , получим;

$$\frac{m}{m_r} = \frac{(U_o - T_U)c_r}{(T_U - T_o)c}$$

10 При известном соотношении  $\frac{m}{m_r}$  массовая доля полезного компонента в куске определяется выражением:

$$Q = \frac{1}{\frac{m}{m_r} + 1},$$

подставляя в которое значение соотношения  $\frac{m}{m_r}$ , получим выражение на основании которого определяют количество полезного компонента в куске:

$$(25) \quad Q = \frac{(T_U - T_o)c}{U_o c_r - T_U(c_r - c) - T_o c} \cdot 100\%,$$

где:

$Q$  - массовая доля полезного компонента контролируемого куска (%)

Для определения установившегося значения температуры куска, контролировать ее с помощью термографической системой необходимо через некоторый промежуток времени после нагрева куска. Этот промежуток времени определяется длительностью переходного процесса теплообмена между полезным компонентом куска и пустой породой. Время задержки между концом облучения энергией СВЧ и моментом контроля установившейся температуры куска определяется по выражению:

$$(26) \quad \Delta t_k = \frac{4}{|p_1|} = \frac{a\rho_r c_r (U_o - T_{Unop})}{1,5k_r (U_o - T_o)}$$

где:

$$(27) \quad T_{Unop} = \frac{U_o c_r Q_{nop} + T_o c (1 - Q_{nop})}{c_r Q_{nop} + c (1 - Q_{nop})}$$

где:

$\Delta t_k$  - время задержки контроля;

$Q_{nop}$  - пороговое значение массовой доли полезного компонента в куске;

$T_{Unop}$  - установившаяся температура для куска с пороговым значением массовой доли полезного компонента.

После определения массовой доли полезного компонента, проверяем условие:

$$Q > Q_{\text{пор}}$$

В зависимости от полученного результата, кусок подается в зону действия устройства, которое по команде вычислительного комплекса осуществляет сепарацию исходного сырья в зависимости от количественных показателей содержания полезного компонента.

Пример 1 реализации способа.

Кусок содержит два основных компонента – магнетит и кварцит, подвергается воздействию СВЧ электромагнитного поля в течении 1 секунд. Физические параметры облучаемого куска и СВЧ поля приведены в Таблица 1

Таблица 1

Параметры	Единицы измерения	Вещество	
		Магнетит	Кварцит
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	68	0,1
Тангенс диэлектрических потерь	-	0,4	0,009
Плотность	Кг/ (м <sup>3</sup> )	4700	3720
Теплоемкость	Дж/ (°К·кг)	600	920
Коэффициент теплоотдачи	Вт/ (°К·м <sup>2</sup> )	10	10
Температура нагрева	°К	283,5173	273,0003
Начальная температура	°К	273	
Электрическая напряженность СВЧ поля	В/м	4000	
Частота СВЧ поля	Гц	2450000000	
Время нагрева	с	1	
Размер зерна	м	0,000075	

Значение установившейся температуры куска с пороговым содержанием полезного компонента 33% определяется по выражению (27):

$$T_{Unop} = \frac{U_o c_r Q_{nop} + T_o c (1 - Q_{nop})}{c_r Q_{nop} + c (1 - Q_{nop})} =$$

$$= \frac{283,5173 \cdot 600 \cdot 0,33 + 273,0003 \cdot 920 \cdot (1 - 0,33)}{600 \cdot 0,33 + 920 \cdot (1 - 0,33)} = 275,5572^{\circ}K$$

По истечению времени контроля  $\Delta t_k$ , определяемому по выражению (26):

$$5 \quad \Delta t_k = \frac{4}{|p_1|} = \frac{a \rho_r c_r (U_o - T_{Unop})}{1,5 k_r (U_o - T_o)} =$$

$$= \frac{0,000075 \cdot 4700 \cdot 600 \cdot (283,5173 - 275,5572)}{1,5 \cdot 10 \cdot (283,5173 - 273,0003)} \approx 1 \text{ лс}$$

с помощью термографической системы определяют установившуюся температура куска. Пусть установившаяся температура будет  $T_U = 275,9$  оК

10 По формуле (25) определяем массовую долю содержания полезного компонента в куске:

$$Q = \frac{(T_U - T_o) \cdot c}{U_o \cdot c_r - T_U \cdot (c_r - c) - T_o \cdot c} =$$

$$= \frac{(275,9 - 273,0003) \cdot 920 \cdot 100\%}{283,5173 \cdot 600 - 275,9 \cdot (600 - 920) - 273,0003 \cdot 920} = 36,87\%$$

Проверяем условие:  $Q > Q_{nop}$

15 Исходя из полученных значений, видим, что условие выполняется:

$$36,87\% > 33\%$$

а контролируемый кусок следует отнести к технологическому потоку кусков с полезным компонентом.

20 Пример 2 реализации способа.

Кусок содержит два основных компонента – гематит и кварцит, подвергается воздействию СВЧ электромагнитного поля в течении 2 секунд. Физические параметры облучаемого куска и СВЧ поля приведены в Таблица 2

5

Таблица 2

Параметры	Единицы измерения	Вещество	
		Гематит	Кварцит
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	48	6,8
Тангенс диэлектрических потерь	-	0,2	0,009
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	5100	2660
Теплоемкость	Дж/(°К·кг)	630	850
Коэффициент теплоотдачи	Вт/(°К·м <sup>2</sup> )	10	10
Температура нагрева	°К	279,5159	273,0590
Начальная температура	°К	273	
Электрическая напряженность СВЧ поля	В/м	4000	
Частота СВЧ поля	Гц	2450000000	
Время нагрева	с	2	
Размер зерна	м	0,000075	

Значение установившейся температуры куска с пороговым содержанием полезного компонента 42% определяется по выражению (27):

$$T_{Unop} = \frac{U_o c_r Q_{nop} + T_o c(1 - Q_{nop})}{c_r Q_{nop} + c(1 - Q_{nop})} =$$

$$= \frac{279,5159 \cdot 630 \cdot 0,42 + 273,059 \cdot 850 \cdot (1 - 0,42)}{630 \cdot 0,42 + 850 \cdot (1 - 0,42)} = 275,3142^{\circ}K$$

По истечению времени контроля  $\Delta t_k$ , определяемому по выражению (26):

$$\Delta t_k = \frac{4}{|p_1|} = \frac{a \rho_r c_r (U_o - T_{Unop})}{1,5 k_r (U_o - T_o)} =$$

$$= \frac{0,000075 \cdot 5100 \cdot 630 \cdot (279,5159 - 275,3142)}{1,5 \cdot 10 \cdot (279,5159 - 273,059)} \approx 10c$$

с помощью термографической системы определяют установившуюся температура куска. Пусть установившаяся температура будет  $T_U = 275,2$  °К

По формуле (25) определяем массовую долю содержания  
5 полезного компонента в куске:

$$Q = \frac{(T_U - T_O) \cdot c}{U_O \cdot c_r - T_U \cdot (c_r - c) - T_O \cdot c} =$$
$$= \frac{(275,2 - 273,059) \cdot 850 \cdot 100\%}{279,5159 \cdot 600 - 275,2 \cdot (600 - 850) - 273,059 \cdot 850} = 40,09\%$$

Проверяем условие:  $Q > Q_{\text{нор}}$

Исходя из полученных значений, видим, что условие не  
10 выполняется:

$$40,09\% < 42\%,$$

а контролируемый кусок следует отнести к технологическому потоку кусков с пустой породой.

Заявляемый способ может быть использован в  
15 технологических процессах кусковой сепарации сырья при обогащении руд черных и цветных металлов, горно-химического сырья и техногенных отходов с определенным гранулометрическим составом кусков.

Внутренний состав кусков сырья может быть бинарным  
20 (состоящей из двух фаз) или квазибинарным и представлять собой гетерогенную матричную систему или гетерогенной систему типа статистическая смесь, с изотропной (квазиизотропной) или анизотропной макроструктурой.

Заявляемый способ может использоваться на начальных  
25 этапах в технологиях обогащения (предварительное обогащение)

и подготовки кускового сырья к дальнейшему переделу, например, для предварительной кусковой сепарации добытого сырья в условия подземного способа разработки полезных ископаемых непосредственно на месте добычи (в забое), для

5 предварительной кусковой сепарации исходного сырья при переработке техногенных отходов, а также на конечных стадиях обогащения в тех технологиях, где конечным продуктом обогащения является кусковый материал с заданными физико-химическими свойствами, (например, доменный кусок,

10 мартеновский кусок и т.д.).

**Второй способ** может быть реализован на примере обогащения исходного металлосодержащего сырья, руд черных или цветных металлов. Заявленный способ обеспечивает

15 сепарацию исходного сырья на два потока: один поток с содержанием полезного компонента выше заданного значения, а другой поток с содержанием полезного компонента ниже заданного значения. Сепарации может подвергаться исходное сырье полученное как непосредственно после обрушения горной

20 массы в цикле горных работ при добыче полезного ископаемого, так и сырье в виде горной массы подвергшейся дополнительному дроблению до заданных размеров среднего куска, так и сырье техногенного происхождения.

Исходный поток сырья из дозирующего погрузочного

25 устройства поступает на конвейер. Вычислительное устройство через выходной интерфейс формирует сигнал управления устройством дозированной подачи куска на ленту и сигнал управления системой управления электропривода конвейера.



Конвейер подает кусок в зону нагрева установки СВЧ, которая обеспечивает по команде вычислительного комплекса заданное время нагрева и необходимую мощность электромагнитного излучения.

- 5 После нагрева контролируемого куска в электромагнитном СВЧ поле, компоненты куска, в силу различных электрических, магнитных и теплофизических свойств, нагреваются до различных температур.

- 10 Принимая среднюю температуру нагретого в электромагнитном СВЧ поле контролируемого куска как обобщенный параметр двухфазной статистической смеси и зная объемные концентрации фаз в контролируемом куске, можно определить среднюю температуру контролируемого куска по выражению (см. лит. [2], стр. 683):

$$15 \quad (28) \quad T_c = \frac{(3\nu - 1)U_o + [3(1 - \nu) - 1]T_o}{4} + \sqrt{\left\{ \frac{(3\nu - 1)U_o + [3(1 - \nu) - 1]T_o}{4} \right\}^2 + \frac{U_o T_o}{2}};$$

где:

$\nu$  - объемный коэффициент концентрации полезного компонента;

- 20  $T_c$  - измеренная средняя температура контролируемого куска ( $^{\circ}\text{K}$ ),

$U_o$  - температура нагрева полезного компонента ( $^{\circ}\text{K}$ );

$T_o$  - температура нагрева пустой породы ( $^{\circ}\text{K}$ );

- Объемный коэффициент концентрации полезного компонента для двухфазной статистической смеси определяется  
25 по выражению:

$$(29) \quad \nu = \frac{m_r}{m_r + m \frac{\rho_r}{\rho}}$$

где:

$m_r$  - масса фазы полезного компонента в контролируемом куске (кг);

5  $m$  - масса фазы пустой породы в контролируемом куске (кг);

$\rho_r$  - плотность фазы полезного компонента в контролируемом куске (кг/м<sup>3</sup>);

10  $\rho$  - плотность фазы пустой породы в контролируемом куске (кг/м<sup>3</sup>).

Решая выражение (28) относительно  $\nu$  получим выражение:

$$(30) \quad \nu = \frac{2T_c - \frac{U_0 T_0}{T_c} - 2T_0 + U_0}{3(U_0 - T_0)}.$$

По выражению (30), измерив температуру нагрева полезного компонента, пустой породы и среднюю температуру  
15 контролируемого куска, можно рассчитать объемный коэффициент концентрации полезного компонента в контролируемом куске.

После нагрева куска в СВЧ электромагнитном поле ,  
вычислительный комплекс формирует сигнал управления  
20 электроприводом для подачи куска в зону действия термографической установки. Выходные сигналы термографической установки через входной интерфейс поступают в вычислительный комплекс, который вычисляет

значение объемного коэффициента концентрации полезного компонента для контролируемого куска в соответствии с формулой (30) и проверяют условие

$$(31) \quad v > v_{пор};$$

5 где:

$v_{дон}$  – пороговое значение объемного коэффициента концентрации полезного компонента.

Пороговое значение объемного коэффициента концентрации полезного компонента определяется из выражения:

$$(32) \quad v_{пор} = \frac{2T_{c_{пор}} - \frac{U_o \cdot T_o}{T_{c_{пор}}} - 2T_o + U_o}{3(U_o - T_o)}$$

где:

$T_{c_{пор}}$  - среднее значение температуры куска с пороговым значением массовой доли полезного компонента, которое определяется по выражению:

$$(33) \quad T_{c_{пор}} = \frac{U_o + \frac{(1 - Q_{пор})}{Q_{пор}} \cdot \frac{k_{,c}}{k_{c,r}} \cdot T_o}{1 + \frac{(1 - Q_{пор})}{Q_{пор}} \cdot \frac{k_{,c}}{k_{c,r}}}$$

При выполнении условия(31), то есть, количество полезного компонента в контролируемом куске равно или превышает некоторое пороговое значение, с выдержкой времени, необходимой для подачи куска в зону действия сепарационного устройства, вычислительный комплекс через выходной

интерфейс включает сепарационное устройство, которое изменяет траекторию падения куска с полезным компонентом и соответственно делит исходное сырье на два технологических потока: - с содержанием полезного компонента и без него.

# 5 Пример 1 реализации способа.

Кусок содержит два основных компонента – магнетит и кварцит, подвергается воздействию СВЧ электромагнитного поля в течении 1 секунд. Физические параметры облучаемого куска и СВЧ поля приведены в Таблица 3

10

Таблица 3

Параметры	Единицы измерения	Вещество	
		Магнетит	Кварцит
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	68	0,1
Тангенс диэлектрических потерь	-	0,4	0,009
Плотность	кг / (м <sup>3</sup> )	4700	3720
Теплоемкость	Дж / (°К · кг)	600	920
Коэффициент теплоотдачи	Вт / (°К · м <sup>2</sup> )	10	10
Температура нагрева	°К	283,5173	273,0003
Начальная температура	°К	273	
Электрическая напряженность СВЧ поля	В/м	4000	
Частота СВЧ поля	Гц	2450000000	
Время нагрева	с	1	
Размер зерна	м	0,000075	

Средняя температура контролируемого куска с пороговым содержанием полезного компонента, равным  $Q_{пор} = 33\%$ , определяется по выражению (33):

15

$$T_{c_{пор}} = \frac{U_o + \frac{(1-Q_{пор})}{Q_{пор}} \cdot \frac{k_r c}{k c_r} \cdot T_o}{1 + \frac{(1-Q_{пор})}{Q_{пор}} \cdot \frac{k_r c}{k c_r}} =$$

$$= \frac{283,5173 + \frac{(1 - 0,33)}{0,33} \cdot \frac{10 \cdot 920}{10 \cdot 600} \cdot 273,0003}{1 + \frac{(1 - 0,33)}{0,33} \cdot \frac{10 \cdot 920}{10 \cdot 600}} = 275,5572^{\circ} K$$

Пороговое значение объемного коэффициента концентрации полезного компонента  $V_{пор}$  с пороговым содержанием полезного компонента 33% определяется по  
5 выражению (32):

$$V_{пор} = \frac{2T_{c_{пор}} - \frac{U_o T_o}{T_{c_{пор}}} - 2T_o + U_o}{3(U_o - T_o)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 275,5572 - \frac{283,5173 \cdot 273,0003}{275,5572} - 2 \cdot 273,0003 + 283,5173}{3 \cdot (283,5173 - 273,0003)} = 0,24546483$$

По окончании воздействия СВЧ облучения, с помощью термографической системы определяются среднее значение  $T_c$   
10 температуры контролируемого куска, которые в данном примере составили:

$$T_c = 275,9^{\circ} K$$

По формуле (30) определяем значение объемного коэффициента концентрации полезного компонента  $V$  для  
15 данного контролируемого куска:

$$V = \frac{2T_c - \frac{U_o \cdot T_o}{T_c} - 2T_o + U_o}{3(U_o - T_o)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 275,9 - \frac{283,5173 \cdot 273,0003}{275,9} - 2 \cdot 273,0003 + 283,5173}{3 \cdot (283,5173 - 273,0003)} = 0,27949039$$

Проверяем условие:  $V > V_{пор}$

Исходя из полученных значений, видим, что условие выполняется:

$$0,27949039 > 0,24546483,$$

а контролируемый кусок следует отнести к  
5 технологическому потоку кусков с полезным компонентом.

Пример 2 реализации способа.

Кусок содержит два основных компонента – гематит и кварцит, подвергается воздействию СВЧ электромагнитного поля в течении 2 секунд. Физические параметры облучаемого  
10 куска и СВЧ поля приведены в Таблица 4

Таблица 4

Параметры	Единицы измерения	Вещество	
		Гематит	Кварцит
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	48	6,8
Тангенс диэлектрических потерь	-	0,2	0,009
Плотность	кг/ (м <sup>3</sup> )	5100	2660
Теплоемкость	Дж/ (°К·кг)	630	850
Коэффициент теплоотдачи	Вт/ (°К·м <sup>2</sup> )	10	10
Температура нагрева	°К	279,5159	273,0590
Начальная температура	°К	273	
Электрическая напряженность СВЧ поля	В/м	4000	
Частота СВЧ поля	Гц	2450000000	
Время нагрева	с	2	
Размер зерна	м	0,000075	

Средняя температура контролируемого куска с пороговым содержанием полезного компонента, равным  $Q_{пор} = 42\%$ ,  
15 определяется по выражению(33):

$$T_{c_{пор}} = \frac{U_o + \frac{(1 - Q_{пор}) \cdot k_{,c}}{Q_{пор}} \cdot T_o}{1 + \frac{(1 - Q_{пор}) \cdot k_{,c}}{Q_{пор}}} =$$

$$= \frac{279,5159 + \frac{(1 - 0,42)}{0,42} \cdot \frac{10 \cdot 850}{10 \cdot 630} \cdot 273,059}{1 + \frac{(1 - 0,33)}{0,33} \cdot \frac{10 \cdot 920}{10 \cdot 600}} = 275,3142^{\circ} K$$

Пороговое значение объемного коэффициента концентрации полезного компонента  $V_{пор}$  с пороговым содержанием полезного компонента 42% определяется по выражению (32):

$$V_{пор} = \frac{2T_{c_{пор}} - \frac{U_o T_o}{T_{c_{пор}}} - 2T_o + U_o}{3(U_o - T_o)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 275,3142 - \frac{279,5159 \cdot 273,059}{275,3142} - 2 \cdot 273,059 + 279,5159}{3 \cdot (279,5159 - 273,059)} = 0,35103759$$

По окончании воздействия СВЧ облучения, с помощью термографической системы определяются среднее значение  $T_c$  температуры контролируемого куска, которые в данном примере составили:

$$T_c = 275,2^{\circ} K$$

По формуле (30) определяем значение объемного коэффициента концентрации полезного компонента  $V$  для данного контролируемого куска:

$$V = \frac{2T_c - \frac{U_o \cdot T_o}{T_c} - 2T_o + U_o}{3(U_o - T_o)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 275,2 - \frac{279,5 \cdot 273,1}{275,2} - 2 \cdot 273,1 + 279,5}{3 \cdot (279,5 - 273,1)} = 0,33243976$$

Проверяем условие:  $V > V_{\text{нор}}$

Исходя из полученных значений, видим, что условие не выполняется:

5       $0,33243976 < 0,35103759,$

а контролируемый кусок следует отнести к технологическому потоку кусков с пустой породой.

Заявляемый способ может быть использован в технологических процессах кусковой сепарации сырья при  
10 обогащении руд черных и цветных металлов, горно-химического сырья и техногенных отходов с определенным гранулометрическим составом кусков.

Внутренний состав кусков сырья может быть бинарным (состоящей из двух фаз) или квазибинарным и представлять  
15 собой гетерогенную матричную систему или гетерогенной систему типа статистическая смесь, с изотропной (квазиизотропной) макроструктурой.

Заявляемый способ может использоваться на начальных этапах в технологиях обогащения (предварительное  
20 обогащение) и подготовки кускового сырья к дальнейшему переделу, например, для предварительной кусковой сепарации добытого сырья в условия подземного способа разработки полезных ископаемых непосредственно на месте добычи (в забое), для предварительной кусковой сепарации исходного  
25 сырья при переработке техногенных отходов, а также на конечных стадиях обогащения в тех технологиях, где конечным



продуктом обогащения является кусковый материал с заданными физико-химическими свойствами, (например, доменный кусок, мартеновский кусок и т.д.).

- 5        **Третий способ** может быть реализован на примере обогащения исходного металлосодержащего сырья, руд черных или цветных металлов. Заявленный способ обеспечивает сепарацию исходного сырья на два потока: один поток с содержанием полезного компонента выше заданного значения, а
- 10    другой поток с содержанием полезного компонента ниже заданного значения. Сепарации может подвергаться исходное сырье полученное как непосредственно после обрушения горной массы в цикле горных работ при добыче полезного ископаемого, так и сырье в виде горной массы подвергшейся
- 15    дополнительному дроблению до заданных размеров среднего куска, так и сырье техногенного происхождения.

Исходный поток сырья из дозирующего погрузочного устройства поступает на конвейер. Вычислительное устройство через выходной интерфейс и систему управления формирует

20    сигнал управления устройством дозированной подачи куска на конвейер и сигнал управления на систему управления электропривода конвейера. Конвейер подает кусок в зону нагрева установки СВЧ, которая обеспечивает по команде вычислительного устройства необходимую мощность

25    электромагнитного излучения.

Сигнал с датчика скорости конвейера через входной интерфейс поступает в вычислительное устройство, который через выходной интерфейс формирует такой сигнал управления

на систему управления электропривода конвейера, который обеспечивает скорость конвейера необходимую для нахождения куска в зоне облучения и нагрева электромагнитным полем заданное время, которое определяется по формуле (11)

- 5       Необходимая линейная скорость конвейерной ленты  $V_K$  может быть определена по формуле:

$$(34) \quad V_K = \frac{L_H}{t_H} ; \left[ \frac{м}{с} \right]$$

где:

- 10        $L_H$  - эквивалентный линейный размер зоны облучения СВЧ электромагнитным полем вдоль вектора скорости конвейерной ленты (м);

$t_H$  - необходимое время воздействия СВЧ электромагнитного поля на контролируемый кусок, которое определяется по выражению (11) (с).

- 15       Кусок сырья, состоящий из полезного компонента и пустой породы облучается СВЧ электромагнитным полем.

За счет поглощения СВЧ энергии веществом куска, его средняя температура, за время нагрева, повысится на величину определяемую по выражению:

$$(35) \quad \Delta T_c = \frac{f \pi E_m^2 \epsilon_0 \epsilon_{cp} \operatorname{tg} \delta_{cp}}{c_{cp} \rho_{cp}} \cdot t_H \quad (^\circ K)$$

где:

$\rho_{cp}$  - средняя плотность вещества куска  $\left( \frac{кг}{м^3} \right)$

$c_{cp}$  - средняя удельная теплоемкость вещества куска  
 $(\frac{Дж}{^{\circ}K \cdot кг})$ ;

$\epsilon_{cp}$  - средняя относительная диэлектрическая  
 проницаемость вещества куска;

5  $tg\delta_{cp}$  - среднее значение тангенса диэлектрических потерь  
 вещества куска;

Средняя плотность вещества куска определяется по  
 выражению:

$$(36) \quad \rho_{cp} = \frac{M}{V_{\sigma}} \left[ \frac{кг}{м^3} \right]$$

10 где:

$M$  - масса куска ( кг)

$V_{\sigma}$  - объем куска (  $м^3$  )

В свою очередь,;

$$M = m_r + m \text{ [кг]}$$

15 где:

$m_r$  - масса полезного компонента в куске ( кг);

$m$  - масса пустой породы в куске ( кг).

Объем куска будет

$$V_{\sigma} = v_r + v \text{ [ } м^3 \text{ ]};$$

20 где:

$v_r$  - объем полезного компонента в куске (  $м^3$  );

$v$  - объем пустой породы в куске (  $м^3$  ).

Объемы полезного компонента и пустой породы в куске можно выразить через их массы и плотности, тогда:

$$v_r = \frac{m_r}{\rho_r}; \quad v = \frac{m}{\rho}$$

С учетом выше сказанного, средняя плотность куска будет  
5 определяться по выражению:

$$(37) \quad \rho_{cp} = \frac{\rho_r \rho \left( \frac{m_r}{m} + 1 \right)}{\rho \frac{m_r}{m} + \rho_r} \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$$

Средняя теплоемкость вещества куска определяется из выражения:

$$c_{cp} M = c_r m_r + c m$$

10 откуда:

$$(38) \quad c_{cp} = \frac{c_r m_r + c m}{m_r + m} \quad \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{кг}} \right]$$

Энергия СВЧ электромагнитного поля, затраченная на нагрев единицы объема вещества контролируемого куска в единицу времени, определяется выражением:

$$15 \quad (39) \quad P_{cp} = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_{cp} \quad [ \text{Вт} ]$$

Энергия СВЧ электромагнитного поля, затраченная на нагрев всего объема полезного компонента контролируемого куска в единицу времени, определяется выражением:

$$P_r = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r v_r = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r \frac{m_r}{\rho_r} \quad [ \text{Вт} ]$$

Энергия СВЧ электромагнитного поля, затраченная на нагрев всего объема пустой породы контролируемого куска в единицу времени, определяется выражением:

$$P_o = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon \operatorname{tg} \delta v = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon \operatorname{tg} \delta \frac{m}{\rho} [Bm]$$

5 Энергия СВЧ электромагнитного поля, затраченная на нагрев всего объема вещества контролируемого куска в единицу времени, определяется выражением:

$$P = P_r + P_o = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \left( \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r \frac{m_r}{\rho_r} + \varepsilon \operatorname{tg} \delta \frac{m}{\rho} \right) [Bm]$$

10 Тогда, энергия СВЧ электромагнитного поля, затраченная на нагрев единицы объема вещества контролируемого куска в единицу времени, будет определяется выражением:

$$P_{cp} = \frac{P}{v_r + v} = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \cdot \frac{\varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r \frac{m_r}{\rho_r} + \varepsilon \operatorname{tg} \delta \frac{m}{\rho}}{\frac{m_r}{\rho_r} + \frac{m}{\rho}} [Bm];$$

или:

$$(40) \quad P_{cp} = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \cdot \frac{\varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r \frac{m_r}{m} \rho + \varepsilon \operatorname{tg} \delta \rho_r}{\frac{m_r}{m} \rho + \rho_r} [Bm]$$

15 Сравнивая выражения (39) и (40), можно прийти к выводу, что:

$$(41) \quad \varepsilon_{cp} \operatorname{tg} \delta_{cp} = \frac{\varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r \frac{m_r}{m} \rho + \varepsilon \operatorname{tg} \delta \rho_r}{\frac{m_r}{m} \rho + \rho_r}$$

Выражение (41) представляет собой фактор потерь вещества контролируемого куска, выраженного через факторы потерь полезного компонента  $\varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r$  и пустой породы  $\varepsilon \operatorname{tg} \delta$  и соотношения масс полезного компонента и пустой породы  $\frac{m_r}{m}$

5 в контролируемом куске.

Подставляя в формулу (35) выражения (37), (38) и ((41), и выполняя соответствующие преобразования, получим выражение для среднего повышения температуры контролируемого куска:

$$10 \quad (42) \quad \Delta T_c = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 t_H \cdot \frac{\varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r \frac{m_r}{m} \rho + \varepsilon \operatorname{tg} \delta \rho_r}{\rho_r \rho \left( c_r \frac{m_r}{m} + c \right)} ;$$

Измеряя среднюю температуру контролируемого куска, предварительно нагретого в СВЧ электромагнитном поле, из выражения (42) можно определить соотношение  $\frac{m_r}{m}$ , – массы полезного компонента к массе пустой породы в этом куске.

15 При выходе из зоны облучения электромагнитным полем кусок попадает в зону действия термографической системы, где определяют среднюю температуру нагретого куска путем фиксации картины его теплового излучения.

Выходные сигналы термографической установки через  
20 входной интерфейс поступают в вычислительное устройство.

При контроле температуры с помощью термографической установки, фиксированная картина теплового излучения нагретого контролируемого куска представляет карту тепловых

точек. Каждая точка фиксированной картины теплового излучения соответствует достаточно малому (элементарному) участку контролируемого куска. Поэтому, температуру на элементарном участке контроля куска можно считать

5 одинаковой.

Тогда, средняя превышение температура всего куска может быть определена по выражению:

$$\Delta T_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \Delta S_i} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta T_i \cdot \Delta S_i;$$

где:

10  $\Delta S_i$  - площадь элементарного участка, соответствующая точке фиксированной картины теплового излучения нагретого контролируемого куска;

$\Delta T_i$  - превышение температура точки фиксированной картины теплового излучения нагретого контролируемого куска;

15  $N$  - число точек фиксированной картины теплового излучения нагретого контролируемого куска.

Или, если  $\Delta S_i$  соответствуют одинаковым по размеру элементарным участкам контролируемого куска, то средняя температура всего куска может быть определена по выражению:

20 (43) 
$$\Delta T_c = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta T_i$$

Решив выражение (42) относительно  $\frac{m_r}{m}$ , получаем:

$$(44) \quad \frac{m_r}{m} = \frac{\pi f E_m^2 t_H \varepsilon_0 \varepsilon \operatorname{tg} \delta \rho_r - \Delta T_C \rho_r \rho c}{T_C \rho_r \rho c_r - \pi f E_m^2 t_H \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r \rho}$$

Содержание (массовая доля) полезного компонента в контролируемом куске определяется выражением:

$$(45) \quad Q = \frac{\frac{m_r}{m}}{\frac{m_r}{m} + 1}$$

- 5        Подставляя в выражение (45) выражение (44) и выполнив необходимые преобразования, получим формулу определения массовой доли полезного компонента в куске:

$$(46) \quad Q = \frac{\rho_r A e}{\rho_r A e - \rho A e_r};$$

где:

- 10         $A e = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon \operatorname{tg} \delta t_H - \Delta T_C \rho c$  - вспомогательный параметр пустой породы;

$A e_r = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r t_H - \Delta T_C \rho_r c_r$  - вспомогательный параметр полезного компонента;

- На практике, исходя из конкретных свойств полезного компонента и пустой породы и их соотношений, параметров  
15        контролируемого потока, чувствительности и быстродействия применяемых устройств контроля температуры, выбирая частоту и напряженность СВЧ электромагнитного поля, время облучения, тактику контроля (одно точечный, двух точечный и  
20        многоточечный контроль) можно достичь требуемой точности кусковой сепарации сырья в потоке.



При выполнении условия

$$Q \geq Q_{\text{пор}}$$

с выдержкой времени, необходимой для подачи куска в зону действия, вычислительное устройство через выходной интерфейс  
5 включает исполнительных органов сепарационного устройства, которые изменяют траекторию движения куска с полезным компонентом, чем и обеспечивается разделение на потоки кусков содержащих и не содержащих полезный компонент.

Пример 1 реализации способа.

10 Кусок содержит два основных компонента – магнетит и кварцит, подвергается воздействию СВЧ электромагнитного поля в течении 1 секунд. Физические параметры облучаемого куска и СВЧ поля приведены в Таблица 5

Таблица 5

Параметры	Единицы измерения	Вещество	
		Магнетит	Кварцит
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	68	0,1
Тангенс диэлектрических потерь	-	0,4	0,009
Плотность	кг/ (м <sup>3</sup> )	4700	3720
Теплоемкость	Дж/ (°К · кг)	600	920
Коэффициент теплоотдачи	Вт/ (°К · м <sup>2</sup> )	10	10
Температура нагрева	°К	283,5173	273,0003
Начальная температура	°К	273	
Электрическая напряженность СВЧ поля	В/м	4000	
Частота СВЧ поля	Гц	2450000000	
Время нагрева	с	1	
Размер зерна	м	0,000075	

15

Пороговое содержание полезного компонента принимаем

$$Q_{\text{пор}} = 33\%.$$

С помощью термографической системы определяют среднюю температура куска. Пусть средняя температура контролируемого куска будет  $T_c = 275,9$  °К, а следовательно, превышение температуры нагрева будет:

$$\Delta T_c = T_c - T_n = 275,9 - 273 = 2,9 \text{ °К};$$

где

$T_n$  - начальная температура контролируемого куска (см. Таблица 5).

По формуле (46) определяем массовую долю содержания полезного компонента в куске:

$$Q = \frac{\rho_r A_e}{\rho_r A_e - \rho A_{e_r}},$$

где:

$$\begin{aligned} A_e &= \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon \operatorname{tg} \delta t_H - \Delta T_c \rho c = \\ &= \pi \cdot 2,45 \cdot 10^9 \cdot 4000^2 \cdot 8,85419 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1 \cdot 0,009 \cdot 1 - 2,9 \cdot 3720 \cdot 920 = \\ &= -9923978,643 \end{aligned}$$

- вспомогательный параметр пустой породы;

$$\begin{aligned} A_{e_r} &= \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r t_H - \Delta T_c \rho_r c_r = \\ &= \pi \cdot 2,45 \cdot 10^9 \cdot 4000^2 \cdot 8,85419 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1 \cdot 0,009 \cdot 1 - 2,9 \cdot 3720 \cdot 920 = \\ &= 21480799,89 \end{aligned}$$

- вспомогательный параметр полезного компонента;

$$Q = \frac{4700 \cdot (-9923978,643) \cdot 100\%}{4700 \cdot (-9923978,643) - 3720 \cdot (21480799,89)} = 36,86\%$$

Проверяем условие:  $Q > Q_{\text{пор}}$

Исходя из полученных значений, видим, что условие выполняется:

$$36,86\% > 33\%$$

а контролируемый кусок следует отнести к технологическому потоку кусков с полезным компонентом.

Пример 2 реализации способа.

- 5 Кусок содержит два основных компонента – гематит и кварцит, подвергается воздействию СВЧ электромагнитного поля в течении 2 секунд. Физические параметры облучаемого куска и СВЧ поля приведены в Таблица 6

Таблица 6

Параметры	Единицы измерения	Вещество	
		Гематит	Кварцит
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	48	6,8
Тангенс диэлектрических потерь	-	0,2	0,009
Плотность	кг / (м <sup>3</sup> )	5100	2660
Теплоемкость	Дж / (°К · кг)	630	850
Коэффициент теплоотдачи	Вт / (°К · м <sup>2</sup> )	10	10
Температура нагрева	°К	279,5159	273,0590
Диэлектрическая постоянная	Ф/м	8,8541878Е-12	
Начальная температура	°К	273	
Электрическая напряженность СВЧ поля	В/м	4000	
Частота СВЧ поля	Гц	2450000000	
Время нагрева	с	2	
Размер зерна	м	0,000075	

10

Пороговое содержание полезного компонента принимаем  $Q_{пор} = 42\%$ .

С помощью термографической системы определяют среднюю температура куска. Пусть средняя температура

- 15 Контролируемого куска будет  $T_c = 275,2$  оК, а следовательно, превышение температуры нагрева будет:

$$\Delta T_c = T_c - T_n = 275,2 - 273 = 2,2 \text{ } ^\circ\text{K};$$

где

$T_n$  - начальная температура контролируемого куска (см. Таблица 6).

- 5 По формуле (46) определяем массовую долю содержания полезного компонента в куске:

$$Q = \frac{\rho_r Ae}{\rho_r Ae - \rho Ae_r},$$

где:

$$\begin{aligned} Ae &= \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon \operatorname{tg} \delta t_H - \Delta T_c \rho c = \\ 10 \quad &= \pi \cdot 2,45 \cdot 10^9 \cdot 4000^2 \cdot 8,8541878 \cdot 10^{-12} \cdot 6,8 \cdot 0,009 \cdot 2 - 2,2 \cdot 2660 \cdot 850 = \\ &= -4840735,4 \end{aligned}$$

- вспомогательный параметр пустой породы;

$$\begin{aligned} Ae_r &= \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta_r t_H - \Delta T_c \rho_r c_r = \\ 15 \quad &= \pi \cdot 2,45 \cdot 10^9 \cdot 4000^2 \cdot 8,8541878 \cdot 10^{-12} \cdot 48 \cdot 0,2 \cdot 2 - 2,2 \cdot 5100 \cdot 630 = \\ &= 13867023,45 \end{aligned}$$

- вспомогательный параметр полезного компонента;

$$Q = \frac{5100 \cdot (-4840735,4) \cdot 100\%}{5100 \cdot (-4840735,4) - 2660 \cdot (13867023,45)} = 40,09\%$$

Проверяем условие:  $Q > Q_{\text{пор}}$

- Исходя из полученных значений, видим, что условие  
20. выполняется:

$$40,09\% < 42\%$$

а контролируемый кусок следует отнести к технологическому потоку кусков с полезным компонентом.

Заявляемый способ может быть использован в технологических процессах кусковой сепарации сырья при обогащении руд черных и цветных металлов, горно-химического сырья и техногенных отходов с определенным  
5 гранулометрическим составом кусков.

Внутренний состав кусков сырья может быть бинарным (состоящей из двух фаз) или квазибинарным и представлять собой гетерогенную матричную систему или гетерогенной систему типа статистическая смесь, с изотропной  
10 (квазиизотропной) макроструктурой.

Заявляемый способ может использоваться на начальных этапах в технологиях обогащения (предварительное обогащение) и подготовки кускового сырья к дальнейшему переделу, например, для предварительной кусковой сепарации  
15 добитого сырья в условия подземного способа разработки полезных ископаемых непосредственно на месте добычи (в забое), для предварительной кусковой сепарации исходного сырья при переработке техногенных отходов, а также на конечных стадиях обогащения в тех технологиях, где конечным  
20 продуктом обогащения является кусковый материал с заданными физико-химическими свойствами, (например, доменный кусок, мартеновский кусок и т.д.).

Четвертый способ может быть реализован на примере  
25 обогащения исходного металлосодержащего сырья, руд черных или цветных металлов. Заявленный способ обеспечивает сепарацию исходного сырья на два потока: один поток с содержанием полезного компонента выше заданного значения, а

другой поток с содержанием полезного компонента ниже заданного значения. Сепарации может подвергаться исходное сырье полученное как непосредственно после обрушения горной массы в цикле горных работ при добыче полезного ископаемого, так и сырье в виде горной массы подвергшейся дополнительному дроблению до заданных размеров среднего куска, так и сырье техногенного происхождения.

Исходный поток сырья из дозирующего погрузочного устройства поступает на конвейер. Вычислительное устройство через выходной интерфейс формирует сигнал управления устройством дозированной подачи куска на ленту и сигнал управления системой управления электропривода конвейера. Конвейер подает кусок в зону нагрева установки СВЧ, которая обеспечивает по команде вычислительного устройства заданное время нагрева и необходимую мощность электромагнитного излучения.

Кусок сырья облучается электромагнитным полем частотой  $f$ , соответствующей условию по формуле (8), с напряженностью  $E_m$  в течение времени  $t_H$ , определяемому по выражению (11). Частота  $f$ , напряженность  $E_m$  СВЧ электромагнитного поля и время воздействия СВЧ электромагнитного поля  $t_H$  могут выбираться и из других технических или технологических условий.

За время нагрева полезный компонент нагреется до температуры  $U_o$ , определяемой по выражению (12), а пустой

компонент до температуры  $T_O$ , определяемой по выражению (13).

После прекращения действия электромагнитного поля процесс теплообмена между полезным компонентом и пустой породой описывается системой дифференциальных уравнений (14) с начальными условиями  $U_O$  и  $T_O$ :

Решение системы дифференциальных уравнений для нагрева куска согласно (16) имеет вид:

$$T(t) = A_0 + A_1 \cdot e^{p_1 t}$$

Используя разложение экспоненциальной функции в степенной ряд и ограничившись членами  $n$ -го порядка (например, третьего порядка), представим решение системы в виде:

$$T(t) = A_0 + A_1 + A_1 p_1 t + \frac{A_1 p_1^2}{2} t^2 + \frac{A_1 p_1^3}{6} t^3, \text{ или}$$

$$T(t) = X_1 + X_2 t + X_3 t^2 + X_4 t^3$$

где:

$A_0, A_1, p_1$ , - постоянные коэффициенты определяются согласно выражений (17), (18) и (21). Или, переставляя массу через соответствующий объем и плотность компонент, получим:

$$A_0 = T_O - A_1$$

$$A_1 = \frac{T_O - U_O}{1 + \frac{c \rho k_r (V - v)}{c_r \rho_r k_v}}$$

$$(51) \quad p_1 = -\frac{6}{a} \cdot \left( \frac{k_v}{c\rho(V-v)} + \frac{k_r}{c_r\rho_r} \right)$$

Так как, в уравнение (48) входят четыре составляющих, которые необходимо найти, составляется система из четырех уравнений (52) для четырех несовпадающих моментов времени

$$5 \quad (52) \quad \begin{cases} T(t_1) = X_1 + X_2 \cdot t_1 + X_3 \cdot t_1^2 + X_4 \cdot t_1^3 \\ T(t_2) = X_1 + X_2 \cdot t_2 + X_3 \cdot t_2^2 + X_4 \cdot t_2^3 \\ T(t_3) = X_1 + X_2 \cdot t_3 + X_3 \cdot t_3^2 + X_4 \cdot t_3^3 \\ T(t_4) = X_1 + X_2 \cdot t_4 + X_3 \cdot t_4^2 + X_4 \cdot t_4^3 \end{cases}$$

где:

$T(t_1), T(t_2), T(t_3), T(t_4)$  – средняя температура куска,

определенная в моменты времени  $t_1, t_2, t_3, t_4$ ,

Решив систему уравнений(52) относительно  $X_1, X_2, X_3, X_4$ , и

10 учитывая что отношение  $\frac{2X_3}{X_2} = p_1$ , и при известном выражении

для корня характеристического уравнения, определяем коэффициент объемного заполнения полезного компонента для контролируемого куска:

$$(53) \quad K_v = \frac{c\rho(X_3ac_r\rho_r + 3X_2k_r)}{c\rho(X_3ac_r\rho_r + 3X_2k_r) - 3X_2c_r\rho_rk},$$

15 и проверяют условие

$$(54) \quad K_v > K_{v_{нор}};$$

где:



$Kv_{don}$  – пороговое значение коэффициента объемного заполнения полезного компонента.

В зависимости от полученного результата, кусок подается в зону действия устройства, которое по команде вычислительного  
5 комплекса осуществляет сепарацию исходного сырья в зависимости от количественных показателей содержания полезного компонента.

График зависимости коэффициента объемного заполнения полезного компонента от массовой доли полезного компонента в  
10 контролируемом куске представлен на Фиг 6, кривая 59. Точка 60, соответствует пороговому значению коэффициента объемного заполнения полезного компонента, а точка 61, соответствует текущему значению коэффициента объемного заполнения полезного компонента.

15 Пример 1 реализации способа.

Кусок содержит два основных компонента – магнетит и кварцит, подвергается воздействию СВЧ электромагнитного поля в течении 1 секунд. Физические параметры облучаемого куска и СВЧ поля приведены в Таблица 7

Таблица 7

Параметры	Единицы измерения	Вещество	
		Магнетит	Кварцит
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	68	0,1
Тангенс диэлектрических потерь	-	0,4	0,009
Плотность	Кг / (м <sup>3</sup> )	4700	3720
Теплоемкость	Дж / (°К · кг)	600	920
Коэффициент теплоотдачи	Вт / (°К · м <sup>2</sup> )	10	10
Температура нагрева	°К	283,5173	273,0003
Вес куска	Кг	1	
Начальная температура	°К	273	
Электрическая напряженность СВЧ поля	В/м	4000	
Частота СВЧ поля	Гц	2450000000	
Время нагрева	с	1	
Размер зерна	м	0,000075	

Для порогового содержанием полезного компонента, равного  $Q_{пор} = 33\%$ , определяем:

5 Вес полезного компонента –  $m_r = M \cdot Q_{пор} = 1 \cdot 0,33 = 0,33 \text{ кг}$

Вес пустой породы –  $m = M \cdot (1 - Q_{пор}) = 1 \cdot (1 - 0,33) = 0,67 \text{ кг}$

$$A_{O_{пор}} = \frac{mk_r c T_o + m_r k_c U_o}{mk_c + m_r k_c} =$$

$$= \frac{0,67 \cdot 10 \cdot 920 \cdot 273,0003 + 0,33 \cdot 10 \cdot 600 \cdot 283,5173}{0,67 \cdot 10 \cdot 920 + 0,33 \cdot 10 \cdot 600} = 275,557224^\circ \text{K}$$

$$A_{1_{пор}} = \frac{m_r k_c (T_o - U_o)}{mk_c + m_r k_c} =$$

10  $= \frac{0,33 \cdot 10 \cdot 600 \cdot (273,0003 - 283,5173)}{0,67 \cdot 10 \cdot 920 + 0,33 \cdot 10 \cdot 600} = -2,556937^\circ \text{K}$

$$p1_{пор} = -\frac{6}{a\rho_r} \cdot \left( \frac{m_r k}{mc} + \frac{k_r}{c_r} \right) =$$

$$= -\frac{6}{0,000075 \cdot 4700} \cdot \left( \frac{0,33 \cdot 10}{0,67 \cdot 920} + \frac{10}{600} \right) = -0,374814 \frac{1}{c}$$

В некоторых четырех определенных моментах времени  $t_1, t_2, t_3, t_4$  после прекращения воздействия СВЧ излучения, с помощью термографической системы определяем средние значения  $T(t_i)$  температуры контролируемого куска, которые в

5 данном примере составили:

моменты времени контроля –  $t_1 = 1c$ ;  $t_2 = 2c$ ;  $t_3 = 3c$ ;  
 $t_4 = 4c$ ;

средние значения температуры –  $T(t_1) = 273,98^\circ K$ ;  
 $T(t_2) = 274,64^\circ K$ ;  $T(t_3) = 275,09^\circ K$ ;  $T(t_4) = 275,39^\circ K$ ;

10 Для тех же моментов времени  $t_1, t_2, t_3, t_4$  вычисляем значения температур куска с пороговым содержанием полезного компонента:

$$T_{nop}(t_1) = Ao_{nop} + A_{1nop} e^{p_{1nop} \cdot t_1} =$$

$$= 275,5572239 - 2,55693713 \cdot e^{-0,374814181} = 273,80^\circ K$$

$$15 \quad T_{nop}(t_2) = Ao_{nop} + A_{1nop} e^{p_{1nop} \cdot t_2} =$$

$$= 275,5572239 - 2,55693713 \cdot e^{-0,374814182} = 274,35^\circ K$$

$$T_{nop}(t_3) = Ao_{nop} + A_{1nop} e^{p_{1nop} \cdot t_3} =$$

$$= 275,5572239 - 2,55693713 \cdot e^{-0,374814183} = 274,72^\circ K$$

$$20 \quad T_{nop}(t_4) = Ao_{nop} + A_{1nop} e^{p_{1nop} \cdot t_4} =$$

$$= 275,5572239 - 2,55693713 \cdot e^{-0,374814184} = 274,99^\circ K \text{ По}$$

полученным значениям  $T_{nop}(t_i)$  составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} T_{\text{нор}}(t_1) = X_{1\text{нор}} + X_{2\text{нор}} \cdot t_1 + X_{3\text{нор}} \cdot t_1^2 + X_{4\text{нор}} \cdot t_1^3 \\ T_{\text{нор}}(t_2) = X_{1\text{нор}} + X_{2\text{нор}} \cdot t_2 + X_{3\text{нор}} \cdot t_2^2 + X_{4\text{нор}} \cdot t_2^3 \\ T_{\text{нор}}(t_3) = X_{1\text{нор}} + X_{2\text{нор}} \cdot t_3 + X_{3\text{нор}} \cdot t_3^2 + X_{4\text{нор}} \cdot t_3^3 \\ T_{\text{нор}}(t_4) = X_{1\text{нор}} + X_{2\text{нор}} \cdot t_4 + X_{3\text{нор}} \cdot t_4^2 + X_{4\text{нор}} \cdot t_4^3 \end{cases}$$

решив которую, определяем значения  $X_{2\text{нор}}$  и  $X_{3\text{нор}}$

$$X_{2\text{нор}} = 0,90545 ; X_{3\text{нор}} = -0,13955$$

- и по выражению (53) определяем пороговое значение  
5 коэффициента объемного заполнения полезного компонента:

$$Kv_{\text{нор}} = \frac{c\rho(X_{3\text{нор}}ac_r\rho_r + 3X_{2\text{нор}}k_r)}{c\rho(X_{3\text{нор}}ac_r\rho_r + 3X_{2\text{нор}}k_r) - 3X_{2\text{нор}}c_r\rho_rk},$$

$$\begin{aligned} \Theta 1_{\text{нор}} &= c\rho(X_{3\text{нор}}ac_r\rho_r + 3X_{2\text{нор}}k_r) = \\ &= 920 \cdot 3720 \cdot ((-0,13955) \cdot 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot 600 \cdot 4700 + 3 \cdot 0,90545 \cdot 10) = \\ &= -8049246,77 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10 \quad \Theta 2_{\text{нор}} &= 3X_{2\text{нор}}c_r\rho_rk = \\ &= 3 \cdot 0,90545 \cdot 600 \cdot 4700 \cdot 10 = 76601070,9 \end{aligned}$$

$$Kv_{\text{нор}} = \frac{\Theta 1_{\text{нор}}}{\Theta 1_{\text{нор}} - \Theta 2_{\text{нор}}} = \frac{-8049246,77}{-8049246,77 - 76601070,9} = 0,095088$$

Для измеренных значений  $T(t_i)$  составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} T(t_1) = X_1 + X_2 \cdot t_1 + X_3 \cdot t_1^2 + X_4 \cdot t_1^3 \\ T(t_2) = X_1 + X_2 \cdot t_2 + X_3 \cdot t_2^2 + X_4 \cdot t_2^3 \\ T(t_3) = X_1 + X_2 \cdot t_3 + X_3 \cdot t_3^2 + X_4 \cdot t_3^3 \\ T(t_4) = X_1 + X_2 \cdot t_4 + X_3 \cdot t_4^2 + X_4 \cdot t_4^3 \end{cases}$$

- 15 решив которую, определяем значения  $X_2$  и  $X_3$

$$X_2 = 1,11727 ; X_3 = -0,17949$$

и по выражению (53) определяем значение коэффициента  
объемного заполнения полезного компонента контролируемого  
куска:

$$Kv = \frac{c\rho(X_3ac_r\rho_r + 3X_2k_r)}{c\rho(X_3ac_r\rho_r + 3X_2k_r) - 3X_2c_r\rho_rk},$$

$$\Theta 1 = c\rho(X_3ac_r\rho_r + 3X_2k_r) =$$

$$= 920 \cdot 3720 \cdot ((-0,17949) \cdot 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot 600 \cdot 4700 + 3 \cdot 1,11727 \cdot 10) =$$

$$= -15212483,49$$

$$\Theta 2 = 3X_2c_r\rho_rk =$$

$$= 3 \cdot 1,11727256113,855072 \cdot 600 \cdot 4700 \cdot 10 = 1172139091,2$$

$$Kv = \frac{\Theta 1}{\Theta 1 - \Theta 2} = \frac{-15212483,49}{-15212483,49 - 94521258,8} = 0,138631$$

Проверяем условие:  $Kv > Kv_{пор}$

Исходя из полученных значений, видим, что условие  
10 выполняется:

$$0,138631 > 0,095088,$$

а контролируемый кусок следует отнести к  
технологическому потоку кусков с полезным компонентом.

Пример 2 реализации способа.

15 Кусок содержит два основных компонента – гематит и кварцит, подвергается воздействию СВЧ электромагнитного поля в течение 2 секунд. Физические параметры облучаемого куска и СВЧ поля приведены в Таблица 8

Таблица 8

Параметры	Единицы измерения	Вещество	
		Гематит	Кварцит
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	48	6,8
Тангенс диэлектрических потерь	-	0,2	0,009
Плотность	Кг/ (м <sup>3</sup> )	5100	2660
Теплоемкость	Дж/ (°К · кг)	630	850
Коэффициент теплоотдачи	Вт/ (°К · м <sup>2</sup> )	10	10
Температура нагрева	°К	279,5159	273,0590
Вес куска	Кг	1	
Начальная температура	°К	273	
Электрическая напряженность СВЧ поля	В/м	4000	
Частота СВЧ поля	Гц	2450000000	
Время нагрева	с	2	
Размер зерна	м	0,000075	

Для порогового содержанием полезного компонента, равного  $Q_{пор} = 42\%$ , определяем:

5 Вес полезного компонента –  $m_r = M \cdot Q_{пор} = 1 \cdot 0,42 = 0,42 \text{ кг}$

Вес пустой породы –  $m = M \cdot (1 - Q_{пор}) = 1 \cdot (1 - 0,58) = 0,58 \text{ кг}$

$$A_{o_{пор}} = \frac{mk_r c T_o + m_r k_c U_o}{mk_c + m_r k_c} =$$

$$= \frac{0,58 \cdot 10 \cdot 850 \cdot 273,059 + 0,42 \cdot 10 \cdot 630 \cdot 279,5159}{0,58 \cdot 10 \cdot 850 + 0,42 \cdot 10 \cdot 630} = 275,314165^\circ K$$

$$A_{i_{пор}} = \frac{m_r k_c (T_o - U_o)}{mk_c + m_r k_c} =$$

10  $= \frac{0,42 \cdot 10 \cdot 630 \cdot (273,059 - 279,5159)}{0,58 \cdot 10 \cdot 850 + 0,42 \cdot 10 \cdot 630} = -2,255136^\circ K$

$$p1_{пор} = -\frac{6}{a\rho_r} \cdot \left( \frac{m_r k}{mc} + \frac{k_r}{c_r} \right) =$$

$$= -\frac{6}{0,000075 \cdot 5100} \cdot \left( \frac{0,42 \cdot 10}{0,58 \cdot 850} + \frac{10}{630} \right) = -0,382624 \frac{1}{c}$$

В некоторых четырех определенных моментах времени  $t_1, t_2, t_3, t_4$  после прекращения воздействия СВЧ излучения, с помощью термографической системы определяем средние значения  $T(t_i)$  температуры контролируемого куска, которые в

5 данном примере составили:

моменты времени контроля –  $t_1 = 1c$ ;  $t_2 = 2c$ ;  $t_3 = 3c$ ;  
 $t_4 = 4c$ ;

средние значения температуры –  $T(t_1) = 273,67^{\circ}K$ ;  
 $T(t_2) = 274,10^{\circ}K$ ;  $T(t_3) = 274,40^{\circ}K$ ;  $T(t_4) = 274,60^{\circ}K$ ;

10 Для тех же моментов времени  $t_1, t_2, t_3, t_4$  вычисляем значения температур куска с пороговым содержанием полезного компонента:

$$T_{nop}(t_1) = A_{o_{nop}} + A_{1_{nop}} e^{p_{1_{nop}} \cdot t_1} =$$

$$= 275,3141651 - 2,255136074 \cdot e^{-0,3826240891} = 273,78^{\circ}K$$

15  $T_{nop}(t_2) = A_{o_{nop}} + A_{1_{nop}} e^{p_{1_{nop}} \cdot t_2} =$

$$= 275,3141651 - 2,255136074 \cdot e^{-0,3826240892} = 274,27^{\circ}K$$

$$T_{nop}(t_3) = A_{o_{nop}} + A_{1_{nop}} e^{p_{1_{nop}} \cdot t_3} =$$

$$= 275,3141651 - 2,255136074 \cdot e^{-0,3826240893} = 274,60^{\circ}K$$

20  $T_{nop}(t_4) = A_{o_{nop}} + A_{1_{nop}} e^{p_{1_{nop}} \cdot t_4} =$

$$= 275,3141651 - 2,255136074 \cdot e^{-0,3826240894} = 274,83^{\circ}K$$

По полученным значениям  $T_{nop}(t_i)$  составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} T_{nop}(t_1) = X_{1nop} + X_{2nop} \cdot t_1 + X_{3nop} \cdot t_1^2 + X_{4nop} \cdot t_1^3 \\ T_{nop}(t_2) = X_{1nop} + X_{2nop} \cdot t_2 + X_{3nop} \cdot t_2^2 + X_{4nop} \cdot t_2^3 \\ T_{nop}(t_3) = X_{1nop} + X_{2nop} \cdot t_3 + X_{3nop} \cdot t_3^2 + X_{4nop} \cdot t_3^3 \\ T_{nop}(t_4) = X_{1nop} + X_{2nop} \cdot t_4 + X_{3nop} \cdot t_4^2 + X_{4nop} \cdot t_4^3 \end{cases}$$

решив которую, определяем значения  $X_{2nop}$  и  $X_{3nop}$

$$X_{2nop} = 0,812867 \quad ; \quad X_{3nop} = -0,127169$$

- и по выражению (53) определяем пороговое значение  
5 коэффициента объемного заполнения полезного компонента:

$$Kv_{nop} = \frac{c\rho(X_{3nop}ac_r\rho_r + 3X_{2nop}k_r)}{c\rho(X_{3nop}ac_r\rho_r + 3X_{2nop}k_r) - 3X_{2nop}c_r\rho_rk},$$

$$\begin{aligned} \Theta 1_{nop} &= c\rho(X_{3nop}ac_r\rho_r + 3X_{2nop}k_r) = \\ &= 850 \cdot 2660 \cdot ((-0,127169) \cdot 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot 630 \cdot 5100 + 3 \cdot 0,812867 \cdot 10) = \\ &= -14150810,03 \end{aligned}$$

10

$$\begin{aligned} \Theta 2_{nop} &= 3X_{2nop}c_r\rho_rk = \\ &= 3 \cdot 0,812867 \cdot 630 \cdot 5100 \cdot 10 = 78352249,63 \end{aligned}$$

$$Kv_{nop} = \frac{\Theta 1_{nop}}{\Theta 1_{nop} - \Theta 2_{nop}} = \frac{-14150810,03}{-14150810,03 - 78352249,63} = 0,152977,$$

Для измеренных значений  $T(t_i)$  составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} T(t_1) = X_1 + X_2 \cdot t_1 + X_3 \cdot t_1^2 + X_4 \cdot t_1^3 \\ T(t_2) = X_1 + X_2 \cdot t_2 + X_3 \cdot t_2^2 + X_4 \cdot t_2^3 \\ T(t_3) = X_1 + X_2 \cdot t_3 + X_3 \cdot t_3^2 + X_4 \cdot t_3^3 \\ T(t_4) = X_1 + X_2 \cdot t_4 + X_3 \cdot t_4^2 + X_4 \cdot t_4^3 \end{cases}$$

- 15 решив которую, определяем значения  $X_2$  и  $X_3$

$$X_2 = 0,693136 \quad ; \quad X_3 = -0,104161$$

и по выражению (53) определяем значение коэффициента  
объемного заполнения полезного компонента контролируемого  
куска:



$$Kv = \frac{c\rho(X_3ac_r\rho_r + 3X_2k_r)}{c\rho(X_3ac_r\rho_r + 3X_2k_r) - 3X_2c_r\rho_rk},$$

$$\begin{aligned}\Theta 1 &= c\rho(X_3ac_r\rho_r + 3X_2k_r) = \\ &= 850 \cdot 2660 \cdot ((-0,104161) \cdot 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot 630 \cdot 5100 + 3 \cdot 0,693136 \cdot 10) = \\ &= -9736303,468\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Theta 2 &= 3X_2c_r\rho_rk = \\ &= 3 \cdot 0,693136 \cdot 630 \cdot 5100 \cdot 10 = 66811414,71\end{aligned}$$

$$Kv = \frac{\Theta 1}{\Theta 1 - \Theta 2} = \frac{-9736303,468}{-9736303,468 - 66811414,71} = 0,127193$$

Проверяем условие:  $Kv > Kv_{пор}$

Исходя из полученных значений, видим, что условие не  
10 выполняется:

$$0,127193 < 0,152977,$$

а контролируемый кусок следует отнести к  
технологическому потоку кусков с пустой породой.

Заявляемый способ может быть использован в  
15 технологических процессах кусковой сепарации сырья при  
обогащении руд черных и цветных металлов, горно-  
химического сырья и техногенных отходов с определенным  
гранулометрическим составом кусков.

Внутренний состав кусков сырья может быть бинарным  
20 (состоящей из двух фаз) или квазибинарным и представлять  
собой гетерогенную матричную систему или гетерогенной  
систему типа статистическая смесь, с изотропной  
(квазиизотропной) или анизотропной макроструктурой.

Заявляемый способ может использоваться на начальных  
25 этапах в технологиях обогащения (предварительное  
обогащение) и подготовки кускового сырья к дальнейшему

переделу, например, для предварительной кусковой сепарации добытого сырья в условия подземного способа разработки полезных ископаемых непосредственно на месте добычи (в забое), для предварительной кусковой сепарации исходного  
5 сырья при переработке техногенных отходов, а также на конечных стадиях обогащения в тех технологиях, где конечным продуктом обогащения является кусковый материал с заданными физико-химическими свойствами, (например, доменный кусок, мартеновский кусок и т.д.).

10

**Пятый способ** может быть реализован на примере обогащения исходного металлосодержащего сырья, руд черных или цветных металлов. Заявленный способ обеспечивает сепарацию исходного сырья на два потока: один поток с  
15 содержанием полезного компонента выше заданного значения, а другой поток с содержанием полезного компонента ниже заданного значения. Сепарации может подвергаться исходное сырье полученное как непосредственно после обрушения горной массы в цикле горных работ при добыче полезного ископаемого, так и сырье в виде горной массы подвергшейся  
20 дополнительному дроблению до заданных размеров среднего куска, так и сырье техногенного происхождения.

Исходный поток сырья из дозирующего погрузочного устройства поступает на конвейер. Вычислительное устройство  
25 через выходной интерфейс и систему управления формирует сигнал управления устройством дозированной подачи куска на конвейер и сигнал управления на систему управления электропривода конвейера. Конвейер подает кусок в зону

нагрева установки СВЧ, которая обеспечивает по команде вычислительного устройства необходимую мощность электромагнитного излучения.

Кусок сырья, состоящий из полезного компонента и пустой породы, облучается СВЧ электромагнитным полем частотой  $f$ , напряженностью  $E_m$  в течение времени  $t_H$ .

После прекращения действия СВЧ электромагнитного поля процесс теплообмена между полезным компонентом и пустой породой описывается системой дифференциальных уравнений (14) с начальными условиями  $U_0$  и  $T_0$ :

Решением системы дифференциальных уравнений (14) являются выражения (15) и (16):

Вычитая из выражения (15) выражение (16) соответственно левые и правые части и подставляя значения коэффициента  $A_1$  (выражение (18) и корня характеристического уравнения  $P_1$  (выражение (21), получим зависимость во времени ( см. Фиг 5, кривая 58) превышение температуры полезного компонента над температурой пустой породы контролируемого куска после прекращения воздействия СВЧ электромагнитного поля, которая будет определяться выражением:

$$(55) \quad \Delta T(t) = (U_0 - T_0) e^{-\frac{6}{a\rho_r} \left( \frac{m_r k}{mc} + \frac{k_r}{c_r} \right) t}$$

Решив уравнение (55) относительно  $\frac{m_r}{m}$  получим

выражение для определения значений  $\frac{m_r}{m}$  в любой момент времени после прекращения воздействия СВЧ электромагнитного поля на контролируемый кусок:

$$\frac{m_r}{m} = \frac{cc_r \ln \left( \frac{U_o - T_o}{\Delta T(t)} \right) - \frac{6}{a\rho_r} ck_r t}{\frac{6}{a\rho_r} c_r kt} \quad (56)$$

После регистрации термографической установкой (тепловизором) теплового изображения контролируемого куска в момент времени  $t_K$ , по которому определяется максимальная  $T_{\max}(t_K)$  и минимальная  $T_{\min}(t_K)$  температуры контролируемого куска.

В момент времени  $t_K$ , значение  $\frac{m_r}{m}$  в контролируемом куске можно определить по выражению:

$$\frac{m_r}{m} = \frac{cc_r \ln \left( \frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_K)} \right) - \frac{6}{a\rho_r} ck_r t_K}{\frac{6}{a\rho_r} c_r kt_K} \quad (57)$$

где:

$$\Delta T(t_K) = T_{\max}(t_K) - T_{\min}(t_K) \quad (58)$$

При известном соотношении  $\frac{m_r}{m}$ , массовая доля полезного компонента в куске определяется выражением:

$$(59) \quad Q = \frac{\frac{m_r}{m}}{\frac{m_r}{m} + 1},$$

Подставляя в выражение (59) значение выражений (57) и (58), получим выражение для определения содержания полезного компонента в контролируемом куске:

$$(60) \quad Q = \frac{cc_r \ln \left( \frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_K)} \right) - \frac{6k_r c t_K}{a \rho_r}}{cc_r \ln \left( \frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_K)} \right) + \frac{6(kc_r - k_r c) t_K}{a \rho_r}}$$

После определения массовой доли полезного компонента, проверяем условие:

$$10 \quad Q > Q_{\text{нор}}.$$

В зависимости от полученного результата, кусок подается в зону действия устройства, которое по команде вычислительного комплекса осуществляет сепарацию исходного сырья в зависимости от количественных показателей содержания полезного компонента.

Пример 1 реализации способа.

Кусок содержит два основных компонента – магнетит и кварцит, подвергается воздействию СВЧ электромагнитного

поля в течении 1 секунд. Физические параметры облучаемого куска и СВЧ поля приведены в Таблица 9

Таблица 9

Параметры	Единицы измерения	Вещество	
		Магнетит	Кварцит
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	68	0,1
Тангенс диэлектрических потерь	-	0,4	0,009
Плотность	кг/ (м <sup>3</sup> )	4700	3720
Теплоемкость	Дж/ (°К·кг)	600	920
Коэффициент теплоотдачи	Вт/ (°К·м <sup>2</sup> )	10	10
Температура нагрева	°К	283,5173	273,0003
Начальная температура	°К	273	
Электрическая напряженность СВЧ поля	В/м	4000	
Частота СВЧ поля	Гц	2450000000	
Время нагрева	с	1	
Размер зерна	м	0,000075	

- 5 Пороговое содержание полезного компонента принимаем  $Q_{пор} = 33\%$ .

По истечению некоторого известного промежутка времени, например  $t_k = 2$  секунды, с помощью термографической системы регистрируют тепловое изображение контролируемого куска, по  
10 которому определяют разность максимальной и минимальной температур  $\Delta T(t_k)$ .

Пусть разность максимальной и минимальной температур  $\Delta T(t_k) = 4,8$  °К

- 15 По формуле (60) определяем массовую долю содержания полезного компонента в куске:

$$Q = \frac{cc_r \ln \left( \frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_k)} \right) - \frac{6 \cdot k_r \cdot c \cdot t_k}{a \cdot \rho_r}}{cc_r \ln \left( \frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_k)} \right) + \frac{6 \cdot (k \cdot c_r - k_r \cdot c) \cdot t_k}{a \cdot \rho_r}} =$$

$$= \frac{600 \cdot 920 \cdot \ln\left(\frac{283,5173 - 273,0003}{4,8}\right) - \frac{6 \cdot 10 \cdot 920 \cdot 2}{0,000075 \cdot 4700}}{600 \cdot 920 \cdot \ln\left(\frac{283,5173 - 273,0003}{4,8}\right) + \frac{6 \cdot (10 \cdot 600 - 10 \cdot 920) \cdot 2}{0,000075 \cdot 4700}} \cdot 100\% = 36,97\%$$

Проверяем условие:  $Q > Q_{\text{нор}}$

Исходя из полученных значений, видим, что условие выполняется:

5       $36,97\% > 33\%$

а контролируемый кусок следует отнести к технологическому потоку кусков с полезным компонентом.

Пример 2 реализации способа.

10      Кусок содержит два основных компонента – гематит и кварцит, подвергается воздействию СВЧ электромагнитного поля в течении 2 секунд. Физические параметры облучаемого куска и СВЧ поля приведены в Таблица 10

Таблица 10

Параметры	Единицы измерения	Вещество	
		Гематит	Кварцит
Относительная диэлектрическая проницаемость	-	48	6,8
Тангенс диэлектрических потерь	-	0,2	0,009
Плотность	Кг/ (м <sup>3</sup> )	5100	2660
Теплоемкость	Дж/ (°К·кг)	630	850
Коэффициент теплоотдачи	Вт/ (°К·м <sup>2</sup> )	10	10
Температура нагрева	°К	279,5159	273,0590
Диэлектрическая постоянная	Ф/м	8,8541878Е-12	
Начальная температура	°К	273	
Электрическая напряженность СВЧ поля	В/м	4000	
Частота СВЧ поля	Гц	2450000000	
Время нагрева	с	2	
Размер зерна	м	0,000075	

Пороговое содержание полезного компонента принимаем  $Q_{пор} = 42\%$ .

По истечению некоторого известного промежутка времени, например  $t_k = 2$  секунды, с помощью термографической системы регистрируют тепловое изображение контролируемого куска, по которому определяют разность максимальной и минимальной температур  $\Delta T(t_k)$ .

Пусть разность максимальной и минимальной температур  $\Delta T(t_k) = 3,1$  °К

По формуле (60) определяем массовую долю содержания полезного компонента в куске:

$$Q = \frac{cc_r \cdot \ln\left(\frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_k)}\right) - \frac{6 \cdot k_r \cdot c \cdot t_k}{a \cdot \rho_r}}{cc_r \cdot \ln\left(\frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_k)}\right) + \frac{6 \cdot (k \cdot c_r - k_r \cdot c) \cdot t_k}{a \cdot \rho_r}} =$$

$$= \frac{630 \cdot 850 \cdot \ln\left(\frac{279,5159 - 273,059}{3,1}\right) - \frac{6 \cdot 10 \cdot 850 \cdot 2}{0,000075 \cdot 5100}}{630 \cdot 850 \cdot \ln\left(\frac{279,5159 - 273,059}{3,1}\right) + \frac{6 \cdot (10 \cdot 630 - 10 \cdot 850) \cdot 2}{0,000075 \cdot 5100}} \cdot 100\% = 38,98\%$$

Проверяем условие:  $Q > Q_{пор}$

Исходя из полученных значений, видим, что условие выполняется:

$$38,98\% < 42\%$$

а контролируемый кусок следует отнести к технологическому потоку кусков с полезным компонентом.

Заявляемый способ может быть использован в технологических процессах кусковой сепарации сырья при обогащении руд черных и цветных металлов, горно-



химического сырья и техногенных отходов с определенным гранулометрическим составом кусков.

Внутренний состав кусков сырья может быть бинарным (состоящей из двух фаз) или квазибинарным и представлять собой гетерогенной систему типа статистическая смесь, с анизотропной макроструктурой.

Заявляемый способ может использоваться на начальных этапах в технологиях обогащения (предварительное обогащение) и подготовки кускового сырья к дальнейшему переделу, например, для предварительной кусковой сепарации добытого сырья в условия подземного способа разработки полезных ископаемых непосредственно на месте добычи (в забое), для предварительной кусковой сепарации исходного сырья при переработке техногенных отходов, а также на конечных стадиях обогащения в тех технологиях, где конечным продуктом обогащения является кусковый материал с заданными физико-химическими свойствами, (например, доменный кусок, мартеновский кусок и т.д.).

**Первое устройство** содержит устройство дозированной подачи кусков исходного сырья 1, состоящее (см. Фиг 1. и Фиг 2.) из: приемного бункера 2, питателя 3 с электроприводом 4 и системой управления электроприводом питателя 5, и валкового раскладчика 6; конвейера 9 с электроприводом 7 и системой управления электроприводом конвейера 8; установку СВЧ излучения 10 с системой управления 11 и камерой СВЧ нагрева 26; термографическую систему 12 с термодатчиками 13;

входной интерфейс 14, вычислительное устройство 15, выходной интерфейс 16; формирователь импульсов управления 17 электропневмоклапаном 18, блок временной задержки 19, устройство сравнения 20; световой узконаправленный излучатель 21, фотоприемник 22; датчик положения 23; разделительное устройство с приемниками пустой породы 24 и концентрата 25.

При этом выход термографической системы 12 соединен с первым входом входного интерфейса 14, выход которого соединен через вычислительное устройство 15 с входом выходного интерфейса 16; первый выход выходного интерфейса 16 соединен с первым входом устройства сравнения 20, второй вход которого соединен с выходом фотоприемника 22 светового излучателя 21, а выход через блок временной задержки 19 и формирователь импульсов 17 соединен с входом электропневмоклапана 18; второй выход выходного интерфейса 16 соединен с системой управления электроприводом питателя 5 устройства дозированной подачи кусков исходного сырья, третий выход выходного интерфейса 16 соединен через систему управления 11 с входом установки СВЧ излучения 10 подсоединенной к камере СВЧ нагрева; четвертый выход выходного интерфейса 16, соединен с системой управления электроприводом конвейера 8 электропривода 7 конвейера 9, на валу которого установлен датчик положения 23, соединенный со вторым входом входного интерфейса 14.

Куски исходного сырья, состоящие из полезного компонента и пустой породы, в камере СВЧ нагрева облучается электромагнитным полем частотой  $f$ , определяемой по формуле

(8), напряженностью  $E_m$  в течение времени  $t_n$ . За время нагрева полезный компонент нагреется до температуры  $U_o$ , определяемой по выражению (12), а пустая порода до температуры  $T_o$ , определяемая по выражению (13).

- 5 После прекращения воздействия электромагнитного СВЧ поля процесс теплообмена между полезным компонентом и пустой породой будет направлен на выравнивание температур между полезным компонентом и пустой породой. Характер этого процесса и его параметры будут определяться свойствами
- 10 полезного компонента и пустой породы и соотношением их массовых долей.

Измеряя с помощью термодатчиков и термографической системы параметры теплообменного процесса, определяем массовую долю полезного компонента в контролируемом куске и

15 сравниваем с пороговым значением.

По результату сравнения формируется соответствующее сортирующее воздействие на контролируемый кусок.

Пример 1 реализации устройства.

- Первое устройство, как вариант реализации, схема которого
- 20 представлена на Фиг 1, работает следующим образом.

Вычислительное устройство 15 через выходной интерфейс 16 и систему управления электроприводом конвейера 8 запускает электропривод 7 конвейера 9. При достижении заданной скорости конвейерной ленты, которая вычисляется на основании

данных, поступающих через входной интерфейс 14 от датчика положения конвейера 23, вычислительное устройство 15 через выходной интерфейс 16 и систему управления приводом питателя 5 запускает электропривод 4 питателя 3, с помощью которого куски сырья 1 с приемного бункера 2 подаются на валковый раскладчик 6. Перемещаясь по валковому раскладчику, куски сырья распределяются по поверхности валкового раскладчика в один слой, обеспечивая тем самым однослойную загрузку конвейера 9. Одновременно, вычислительное устройство 15 через выходной интерфейс 16 и систему управления установкой СВЧ 11 запускает установку СВЧ излучения 10 и задает необходимую мощность СВЧ облучения.

СВЧ энергия из установки СВЧ излучения 10 поступает в камеру СВЧ нагрева 26, которая установлена на конвейере 9 таким образом, что куски сырья, перемещаясь конвейером 9, попадают в камеру СВЧ нагрева 26 и подвергаются воздействию СВЧ электромагнитного поля. Находясь в камере СВЧ нагрева 26, куски сырья нагреваются до температуры, значение которой обуславливается свойствами материала кусков и временем воздействия СВЧ электромагнитного поля. Время воздействия СВЧ электромагнитного поля на куски сырья в данном устройстве можно определить из выражения:

$$\Delta t_H = \frac{l_H}{V_K} \text{ (с);}$$

где:

$\Delta t_H$  – время воздействия СВЧ электромагнитного поля на контролируемые куски (секунды);

$l_H$  – длина зоны воздействия СВЧ электромагнитного поля на контролируемые куски по вектору скорости конвейерной ленты (м);

$V_K$  – скорость конвейерной ленты (м/с).

- 5 Через некоторое не нулевое время  $t_K$  после прекращения воздействия СВЧ электромагнитного поля на кусок сырья, он попадает в зону контроля термодатчиков 13, где с помощью термографической системы 12 осуществляется фиксация тепловой картины контролируемого куска. Выходной сигнал
- 10 термографической установки 12 через входной интерфейс 14 поступает в вычислительное устройство 15, которое определяет массовую долю полезного компонента в контролируемом куске в соответствии с формулой (60).

$$Q = \frac{cc_r \ln\left(\frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_K)}\right) - \frac{6 \cdot k_r \cdot c \cdot t_K}{a \cdot \rho_r}}{cc_r \ln\left(\frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_K)}\right) + \frac{6 \cdot (k \cdot c_r - k_r \cdot c) \cdot t_K}{a \cdot \rho_r}}$$

- 15 и проверяют условие:  $Q \geq Q_{нор}$

Время контроля  $t_K$  в данном устройстве можно определить из выражения:

$$t_K = \frac{l_K}{V_K} \text{ (с)}$$

где:

$l_K$  – расстояние от конца зоны воздействия СВЧ электромагнитного поля до зоны фиксации картины теплового излучения термографической установкой (м).

При превышении массовой доли полезного компонента в контролируемом куске некоторого заданного порогового значения, после достижения куском точки падения с конвейера 9, контролируемой с помощью датчика положения 23, вычислительное устройство 15 с выдержкой времени немного меньшей, чем время падения куска от точки падения с конвейера до точки пересечения с тонким лучом от светового излучателя 21, через выходной интерфейс 16 выдает разрешающий сигнал на устройство сравнения 20. При пересечении куском тонкого луча от светового излучателя 21, на выходе фотоприемника 22 формируется сигнал, который подается на второй вход устройства сравнения 20. При совпадении сигналов на обоих входах сравнивающего устройства 20, на его выходе формируется сигнал, который с выдержкой времени, определяемой временем пролета куска от светового излучателя 21 до оси электропневмоклапана 18 и задаваемой блоком временной задержки 19, через формирователь импульсов управления 17, открывает электропневмоклапан 18. При открытии электропневмоклапана на выходе сопла формируется воздушная струя, под воздействием которой изменяется траектория движения куска так, что он попадает в приемник концентрата 25.

Если массовая доля полезного компонента в контролируемом куске не превышает заданного порогового

значения, то вычислительное устройство 15 не выдает разрешающий сигнал на устройство сравнения 20 и при пересечении куском тонкого луча от светового излучателя 21, на его выходе сигнал не возникает, в результате чего  
5 электропневмоклапан не открывается, и кусок не изменяет траекторию движения, что обеспечивает попадание его в приемник пустой породы 24.

Пример 2 реализации устройства.

**Первое устройство**, как вариант реализации, схема которого  
10 представлена на Фиг 2, работает следующим образом.

Вычислительное устройство 15 через выходной интерфейс 16 и систему управления электроприводом конвейера 8 запускает электропривод 7 конвейера 9. Одновременно, вычислительное устройство 15 через выходной интерфейс 16 и систему  
15 управления установкой СВЧ 11 запускает установку СВЧ излучения 10 и задает необходимую мощность СВЧ облучения. СВЧ энергия из установки СВЧ излучения 10 поступает в камеру СВЧ нагрева 26, которая установлена на выпускном устройстве (течке) приемного бункера 2 таким образом, что куски сырья из  
20 приемного бункера, перемещаясь, попадают в камеру СВЧ нагрева 26 и подвергаются воздействию СВЧ электромагнитного поля.

При достижении заданной скорости конвейерной ленты, которая вычисляется на основании данных, поступающих через  
25 входной интерфейс 14 от датчика положения конвейера 23, вычислительное устройство 15 через выходной интерфейс 16 и

систему управления приводом питателя 5 запускает электропривод 4 питатель 3, с помощью которого нагретые СВЧ полом куски сырья, из выпускного устройства (течки) приемного бункера 2 подаются на валковый раскладчик 6. Перемещаясь по валковому раскладчику, нагретые куски сырья распределяются по поверхности валкового раскладчика в один слой, обеспечивая тем самым однослойную загрузку конвейера 9.

Находясь в камере СВЧ нагрева 26, куски сырья нагреваются до температуры, значение которой обуславливается свойствами материала кусков и временем воздействия СВЧ электромагнитного поля. Время воздействия СВЧ электромагнитного поля на куски сырья в данном устройстве можно определить из выражения:

$$t_H = \frac{l_T}{V_T} (с);$$

где:

$t_H$  – время воздействия СВЧ электромагнитного поля на контролируемые куски (секунды);

$l_T$  – длина зоны воздействия СВЧ электромагнитного поля на куски исходного сырья в выпускном устройстве (течке) приемного бункера (м);

$V_T$  – средняя скорость перемещения кусков сырья в выпускном устройстве (течке) приемного бункера (м/с).

Через некоторый промежуток времени, после прекращения воздействия СВЧ электромагнитного поля на кусок сырья, он попадает в зону контроля термодатчиков 13, где с помощью



термографическая система 12, осуществляется фиксация тепловой картины контролируемого куска, по которой определяется средняя температура контролируемого куска.

Значение промежутка времени от момента прекращения  
5 воздействия СВЧ электромагнитного поля до момента фиксации тепловой картины контролируемого куска должно быть не меньше  $\Delta t_k$ , определяемого по выражению (26)

Выходной сигнал термографической системы 12 через  
входной интерфейс 14 поступает в вычислительное устройство  
10 15, которое определяет массовую долю полезного компонента в контролируемом куске в соответствии с формулой (25)

$$Q = \frac{(T_U - T_O)c}{U_O c_r - T_U(c_r - c) - T_O c},$$

и проверяют условие

$$Q \geq Q_{\text{нор}}$$

15 При превышении массовой доли полезного компонента в контролируемом куске некоторого заданного порогового значения, после достижения куском точки падения с конвейера 9, контролируемой с помощью датчика положения 23, вычислительное устройство 15 с выдержкой времени немного  
20 меньшей, чем время падения куска от точки падения с конвейера до точки пересечения с тонким лучом от светового излучателя 21, через выходной интерфейс 16 выдает разрешающий сигнал на устройство сравнения 20. При пересечении куском тонкого луча от светового излучателя 21, на выходе фотоприемника 22  
25 формируется сигнал, который подается на второй вход устройства сравнения 20. При совпадении сигналов на обоих

входах сравнивающего устройства 20, на его выходе формируется сигнал, который с выдержкой времени, определяемой временем пролета куска от светового излучателя 21 до оси электропневмоклапана 18 и задаваемой блоком временной задержки 19, через формирователь импульсов управления 17, открывает электропневмоклапан 18. При открытии электропневмоклапана на выходе сопла формируется воздушная струя, под воздействием которой изменяется траектория движения куска так, что он попадает в приемник концентрата 25.

Если массовая доля полезного компонента в контролируемом куске не превышает заданного порогового значения, то вычислительное устройство 15 не выдает разрешающий сигнал на устройство сравнения 20 и при пересечении куском тонкого луча от светового излучателя 21, на его выходе сигнал не возникает, в результате чего электропневмоклапан не открывается, и кусок не изменяет траекторию движения, что обеспечивает попадание его в приемник пустой породы 24.

В состав заявляемого устройства входя отдельные узлы общепромышленного применения и специальное оборудование, выпускаемое промышленностью и имеющееся на рынке. Для изготовления заявляемого устройства не требуется разработка и освоение выпуска нового оборудования специально предназначенного для создания заявляемого устройства. Для создания заявляемого устройства необходима инженерная разработка алгоритмов его функционирования, программного

обеспечения для вычислительного устройства и сопряжения узлов общепромышленного и специального назначения.

**Второе устройство**, схема которого представлена на Фиг 3, содержит устройство дозированной подачи кусков исходного сырья 26, состоящее из: приемного бункера 27, шнекового питателя 28 с электроприводом 29 и системой управления электроприводом шнекового питателя 30; конвейер 34 с электроприводом 32 и системой управления электроприводом конвейера 33; камеру СВЧ нагрева 51 включающую валковый раскладчик 31 состоящий из валков 54 из термостойкого диэлектрика, между которыми располагаются элементы замедляющей гребенки 55; установку СВЧ излучения 35 с элементом ввода СВЧ энергии 52, узлом выгрузки кусков 53 из камеры СВЧ нагрева, систему управления установкой СВЧ 36; термографическую систему 37 с термодатчиками 38; входной интерфейс 39, вычислительное устройство 40, выходной интерфейс 41; формирователь импульсов управления 42 электропневмоклапаном 43, блок временной задержки 44, устройство сравнения 45; световой узконаправленный излучатель 46, фотоприемник 47; датчик положения 48; разделительное устройство с приемниками пустой породы 49 и концентрата 50.

При этом выход термографической системы 37 соединен с первым входом входного интерфейса 39, выход которого соединен через вычислительное устройство 40 с входом выходного интерфейса 41; первый выход выходного интерфейса 41 соединен с первым входом устройства сравнения 45, второй вход которого соединен с выходом фотоприемника 47 светового

излучателя 46, а выход устройства сравнения 45 через блок временной задержки 44 и формирователь импульсов 42 соединен с входом электропневмоклапана 43; второй выход выходного интерфейса 41 соединен с системой управления электроприводом 5 питателя 30 устройства дозированной подачи, третий выход выходного интерфейса 41 соединен через систему управления установкой СВЧ 36 с установкой СВЧ излучения 35, а выход ее через элемент ввода СВЧ энергии 52 подсоединен к камере СВЧ нагрева 51; четвертый выход выходного интерфейса 41, 10 соединен с системой управления электроприводом конвейера 33 электропривода 32 конвейера 34, на валу которого установлен датчик положения 48, соединенный со вторым входом входного интерфейса 39.

Для исключения утечки СВЧ энергии в наружное 15 пространство размеры узла выгрузки кусков 53 выбираются такими, чтобы он имел свойства запердельного волновода. Кроме того, для уменьшения утечек СВЧ энергии в момент выгрузки кусков из установки СВЧ излучения 35, узел выгрузки кусков 53 содержащий четвертьволновые отражательные ячейки.

20 Для равномерного нагрева куска со всех сторон в камере СВЧ нагрева 51 обеспечивается существование нечетных гармоник высших порядков. Это обеспечивается путем выбора геометрических размеров камеры СВЧ нагрева, кратных не целому числу длин волн. Для повышения напряженности поля и 25 снижения потерь электроэнергии в камере СВЧ нагрева используется замедляющая система гребенчатой структуры 55, расположенная между валками 54 валкового раскладчика 31. Все элементы замедляющей гребенки 55 имеют высоту равную

четверти длины волны и установлены на расстоянии между собой, так же равном четверти длины волны СВЧ излучения.

Пример реализации устройства.

**Второе устройство**, как вариант реализации, схема которого  
5 представлена на Фиг 3, работает следующим образом.

Вычислительное устройства 40 через выходной интерфейс  
41 и систему управления электроприводом конвейера 33  
запускает электропривод 32 конвейера 34 и валковый раскладчик  
31. При достижении заданной скорости конвейерной ленты,  
10 которая вычисляется на основании данных, поступающих через  
входной интерфейс 39 от датчика положения конвейера 48,  
вычислительное устройство 40 через выходной интерфейс 41 и  
систему управления приводом питателя 30 запускает  
электропривод 29 питатель 28 и одновременно, вычислительное  
15 устройство 40 через выходной интерфейс 41 и систему  
управления установкой СВЧ 36 запускает установку СВЧ  
излучения 35 и задает необходимую мощность СВЧ облучения  
Куски сырья с приемного бункера 27 подаются на валковый  
раскладчик 31, перемещаясь по нему распределяются по  
20 поверхности валкового раскладчика в один слой, обеспечивая тем  
самым однослойную загрузку конвейера 34, и одновременно,  
подвергаясь воздействию энергии СВЧ электромагнитного поля,  
поступающей в камеру СВЧ нагрева 51 из установки СВЧ  
излучения 35 через элемент ввода СВЧ энергии 52.

25 Находясь в зоне воздействия СВЧ электромагнитного поля,  
куски сырья нагреваются до температуры, значение которой

обуславливается свойствами материала кусков и временем воздействия СВЧ электромагнитного поля. Время воздействия СВЧ электромагнитного поля на куски сырья в данном устройстве задается из условия необходимого уровня нагрева кусков сырья и определяются скоростью конвейера 34, которая  
5 кусков сырья и определяются скоростью конвейера 34, которая должна быть согласована с производительностью питателя 28.

Сигнал с датчика положения конвейера 48 через входной интерфейс 39 поступает в вычислительное устройство 40, которое через выходной интерфейс 41 формирует такой сигнал  
10 управления на систему управления электропривода конвейера 33 и соответствующий сигнал управления на систему управления электроприводом питателя 30, которые обеспечивают согласованные скорости электропривода конвейера 32 и электропривода питателя 29, обеспечивающие нахождение  
15 кусков сырья в камере СВЧ нагрева 51 заданное время.

Необходимая линейная скорость конвейерной ленты  $V_K$  может быть определена по формуле:

$$V_K = \frac{L_H}{t_H}; (\text{м/с})$$

где:

20  $t_H$  - время воздействия электромагнитного излучения на контролируемый кусок, определяется по формуле (11) (секунды);

$L_H$  - эквивалентный линейный размер зоны облучения СВЧ электромагнитным полем вдоль вектора скорости перемещения кусков (м).

25 После прохождения узла выгрузки кусков 53, нагретые куски сырья попадают в зону действия термодатчиков 38, с

помощью термографическая система 37 осуществляется фиксация тепловой картины контролируемых кусков. Выходной сигнал термографической системы 37 через входной интерфейс 39 поступает в вычислительное устройство 40, которое по тепловой картине куска определяет среднюю температуру куска, а затем массовую долю полезного компонента в контролируемом куске в соответствии с формулой (46).

$$Q = \frac{\rho_r A e}{\rho_r A e - \rho A e_r},$$

и проверяется условия:

$$Q \geq Q_{\text{пор}}$$

При превышении массовой доли полезного компонента в контролируемом куске некоторого заданного порогового значения, после достижения им точки падения с конвейера 34, контролируемой с помощью датчика положения 48, вычислительное устройство 40 с выдержкой времени немного меньшей, чем время падения куска от точки падения на конвейере до точки пересечения с тонким лучом от светового излучателя 46, через выходной интерфейс 41 выдает разрешающий сигнал на устройство сравнения 45. При пересечении куском тонкого луча от светового излучателя 46, на выходе фотоприемника 47 возникает сигнал, который подается на второй вход устройства сравнения 45. При совпадении сигналов на обоих входах сравнивающего устройства 45, на его выходе формируется сигнал, который с выдержкой времени, определяемой временем пролета куска от светового излучателя 46 до оси электропневмоклапана 43 и задаваемой блоком

временной задержки 44, через формирователь импульсов управления 42, открывает электропневмоклапан 43. При открытии электропневмоклапана на выходе сопла формируется воздушная струя, под воздействием которой изменяется

5 траектория движения куска так, что он попадает в приемник концентрата 50. Если массовая доля полезного компонента в контролируемом куске не превышает заданного порогового значения, то вычислительное устройство 40 не выдает разрешающий сигнал на устройство сравнения 45 и на его выходе

10 сигнал не возникает, в результате чего электропневмоклапан не открывается, и кусок не изменяет траекторию движения, что обеспечивает попадание его в приемник пустой породы 49.

Предложенные способы и устройства термографической кусковой сепарации позволяют значительно улучшить

15 технологические показатели обогащения сырья.

Как показали исследования и испытания предлагаемых способов и устройств кусковой сепарации, они позволяют обеспечить при одинаковых условиях и нагрузках увеличение содержания полезного компонента с 6% - 10% до 18% - 25%,

20 прирост массовой доли полезного компонента на 4,5% при уменьшении содержания полезного компонента в «хвостах» до 3%, снизить общие затраты электроэнергии на 5% за счет снижения разубоживания сырья в процессе его обогащения.

В состав заявляемого устройства входят отдельные узлы

25 общепромышленного применения и специальное оборудование, выпускаемое промышленностью и имеющееся на рынке. Для изготовления заявляемого устройства не требуется разработка и освоение выпуска нового оборудования специально



предназначенного для создания заявляемого устройства. Для создания заявляемого устройства необходима инженерная разработка алгоритмов его функционирования, программного обеспечения для вычислительного устройства и сопряжения 5 узлов общепромышленного и специального назначения.

10

#### Литература

1. Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. Издание восьмое, переработанное и дополненное: Москва, «Высшая школа» 1986 год. – 263 с.: ил.
- 15 2. В. И. Оделевский. «Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем». Журнал Техническая физика, Том XXI, вып. 6. 1951 год.

**ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

1. Способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение  
5 их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия полезного компонента, сравнение массовой доли полезного компонента в куске с ее пороговым значением и по полученному  
10 результату разделение кусков на полезный продукт и пустую породу, отличающийся тем, что, каждый кусок сырья облучают электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, затем после прекращения облучения и затухания теплообменных процессов между компонентами контролируемого куска, фиксируют тепловую картину контролируемого куска, по  
15 которой сначала определяют среднюю температуру контролируемого куска, а затем определяют массовую долю полезного компонента в контролируемом куске по формуле:

$$Q = \frac{(T_U - T_O)c}{U_O c_r - T_U (c_r - c) - T_O c};$$

где:

20  $Q$  -массовая доля полезного компонента в куске ;

$T_U$  - измеренная установившаяся температура контролируемого куска;

$T_O$  - температура нагрева пустой породы;

$U_O$  - температура нагрева полезного компонента;

$C_r$  - теплоемкость полезного компонента;

$C$  - теплоемкость пустой породы;

и проверяют условие;

$$Q \geq Q_{пор}$$

5 где:

$Q_{пор}$  - пороговое значение массовой доли полезного компонента в куске;

после чего по полученному результату осуществляют сепарацию кусков сырья на два потока: один из потоков состоит из кусков с  
10 массовой долей содержанием полезного компонента меньше некоторого заданного порогового значения, а другой из потоков состоит из кусков с массовой долей содержания полезного компонента не меньше того же порогового значения.

15 2. Способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия полезного компонента, сравнение массовой доли полезного  
20 компонента в куске с ее пороговой величиной и по полученному результату разделение кусков на полезный продукт и пустую породу, отличающийся тем, что, каждый кусок сырья облучают электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, а затем после прекращения облучения, до момента затухания  
25 теплообменных процессов между компонентами куска, фиксируют тепловую картину куска по которой определяют его

среднюю температуру, а затем определяют объемный коэффициент концентрации полезного компонента в куске по формуле:

$$\nu = \frac{2T_c - \frac{U_o \cdot T_o}{T_c} - 2T_o + U_o}{3(U_o - T_o)};$$

5 где

$\nu$  - объемный коэффициент концентрации полезного компонента;

$T_c$  - измеренная средняя температура контролируемого куска;

10  $U_o$  - температура нагрева полезного компонента;

$T_o$  - температура нагрева пустой породы;

и проверяют условие

$$\nu > \nu_{пор};$$

$\nu_{дон}$  - пороговое значение объемного коэффициента  
15 концентрации полезного компонента.

после чего по полученному результату осуществляют сепарацию кусков сырья на два потока: один из потоков состоит из кусков с содержанием полезного компонента, для которого объемный коэффициент концентрации полезного компонента меньше  
20 некоторого заданного порогового значения, а другой поток состоит из кусков с содержанием полезного компонента, для которого объемный коэффициент концентрации полезного компонента не меньше того же заданного порогового значения.

3. Способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия полезного компонента, сравнение массовой доли полезного компонента в куске с ее пороговой величиной и по полученному результату разделение кусков на полезный продукт и пустую породу, отличающийся тем, что, кусок сырья облучают электромагнитным излучением сверхвысокой частоты в течении времени, определяемом по выражению:

$$t_n = \frac{\Delta T c_r \rho_r}{f \pi \epsilon_0 \epsilon_r E_m^2 \operatorname{tg} \delta_r};$$

где:

$t_n$  - время воздействия электромагнитного СВЧ излучения на контролируемый кусок;

15  $\Delta T$  - требуемое повышение температура нагрева полезного компонента;

$c_r$  - теплоемкость полезного компонента;

$\rho_r$  - плотность полезного компонента;

$f$  - частота колебаний СВЧ электромагнитного поля;

20  $\epsilon_0$  - электрическая постоянная;

$\epsilon_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость полезного компонента;

$E_m$  - напряженность электрического поля СВЧ электромагнитного поля;

$tg\delta_r$  - тангенс диэлектрических потерь полезного компонента,

а затем после прекращения облучения, до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска, фиксируют тепловую картину куска по которой определяют его среднюю температуру, а затем определяют массовую долю полезного компонента в контролируемом куске по формуле:

$$Q = \frac{\rho_r Ae}{\rho_r Ae - \rho Ae_r},$$

где:

$Ae = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon tg\delta t_H - \Delta T_C \rho c$  - вспомогательный параметр пустой породы;

$Ae_r = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r tg\delta_r t_H - \Delta T_C \rho_r c_r$  - вспомогательный параметр полезного компонента;

$Q$  - массовая доля полезного компонента в контролируемом куске;

$\Delta T_C$  - среднее превышение температуры нагрева контролируемого куска ( $^{\circ}K$ );

$\rho$  - плотность пустой породы;

$\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость пустой породы;

$tg\delta$  - тангенс диэлектрических потерь пустой породы.

и проверяется условие:

$$Q > Q_{пор};$$

где:

$Q_{пор}$  - пороговое значение массовой доли полезного компонента;

после чего по полученному результату осуществляют сепарацию кусков сырья на два потока: один из потоков состоит из кусков с массовой долей содержанием полезного компонента меньше некоторого заданного порогового значения, а другой из потоков состоит из кусков с массовой долей содержания полезного компонента не меньше того же порогового значения.

4. Способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия полезного компонента, сравнение массовой доли полезного компонента в куске с ее пороговой величиной и по полученному результату разделение кусков на полезный продукт и пустую породу, отличающийся тем, что, каждый кусок сырья облучают электромагнитным излучением, частота которого определяют по формуле:

$$f \leq \frac{1}{\pi \cdot X_m \cdot \sqrt{2\varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \mu_r (\sqrt{1 + \tan^2 \delta_r} + 1)}},$$

где:

$X_m$  - максимальный линейный размер куска;

$\varepsilon_0$  - электрическая постоянная;

$\varepsilon_r$  - относительная диэлектрическая постоянная полезного компонента;

$\mu_0$  - магнитная постоянная;

$\mu_r$  - относительная магнитная проницаемость полезного компонента;

$\operatorname{tg} \delta_r$  - тангенс диэлектрических потерь полезного компонента,

а время нагрева определяют по формуле:

$$t_n = \frac{\Delta T c_r \rho_r}{f \pi \varepsilon_0 \varepsilon_r E_m^2 \operatorname{tg} \delta_r},$$

где:

$\Delta T$  - требуемое повышение температура нагрева полезного компонента;

$c_r$  - удельная теплоемкость полезного компонента;

$\rho_r$  - плотность полезного компонента;

$\varepsilon_r$  - относительная электрическая проницаемость полезного компонента;

$E_m$  - напряженность электромагнитного поля,

после чего с момента прекращения воздействия электромагнитного поля до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска, неоднократно фиксируют тепловые картины куска, по которым определяют средние температуры контролируемого куска, а на основании полученных данных составляют систему уравнений



$$\begin{cases} T_0 = X_1 + X_2 t_0 + X_3 t_0^2 + X_4 t_0^3 \\ T_1 = X_1 + X_2 t_1 + X_3 t_1^2 + X_4 t_1^3 \\ T_2 = X_1 + X_2 t_2 + X_3 t_2^2 + X_4 t_2^3 \\ T_3 = X_1 + X_2 t_3 + X_3 t_3^2 + X_4 t_3^3 \end{cases}$$

где:

$T_0, T_1, T_2, T_3$  – средняя температура куска, определенная в моменты времени  $t_0, t_1, t_2, t_3$ .

- 5 и решают ее относительно  $X_1, X_2, X_3, X_4$ , после чего определяют коэффициент объемного заполнения полезного компонента по формуле:

$$K_v = \frac{c\rho(X_3 a c_r \rho_r + 3X_2 k_r)}{c\rho(X_3 a c_r \rho_r + 3X_2 k_r) - 3X_2 c_r \rho_r k},$$

где:

- 10  $C$  - теплоемкость пустой породы;  
 $\rho$  - плотность пустой породы;  
 $a$  - размер зерна полезного компонента;  
 $k_r$  - коэффициент теплоотдачи полезного компонента;  
 $k$  - коэффициент теплоотдачи пустой породы;

- 15 и проверяют условие

$$K_v > K_{v_{\text{пор}}}$$

где:

$K_{v_{\text{пор}}}$  - пороговое значение коэффициента объемного заполнения полезного компонента.

По полученному результату осуществляют сепарацию кусков сырья на два потока: один из потоков состоит из кусков с содержанием полезного компонента, для которого коэффициент объемного заполнения полезного компонента меньше  
5 некоторого заданного порогового значения, а другой поток состоит из кусков с содержанием полезного компонента, для которого коэффициент объемного заполнения полезного компонента не меньше того же заданного порогового значения.

10 5. Способ термографической кусковой сепарации сырья, который включает поштучную подачу кусков сырья, облучение их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию наведенного излучения, определение наличия полезного компонента, сравнение массовой доли полезного  
15 компонента в куске с ее пороговой величиной и по полученному результату разделение кусков на полезный продукт и пустую породу, отличающийся тем, что, каждый кусок сырья облучают электромагнитным излучением сверхвысокой частоты до нагрева компонентов куска, а после прекращения воздействия  
20 электромагнитного излучения, термографической системой фиксируют температурную картину куска после прекращения воздействия электромагнитного поля до момента затухания теплообменных процессов между компонентами куска, при этом по полученной тепловой картине определяют разность  
25 максимальной и минимальной температуры куска, а по разности максимальной и минимальной температуры и известному интервалу времени от момента прекращения воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты до момента

регистрации теплового изображения куска, определяют массовую долю полезного компонента в куске, в соответствии с формулой:

$$Q = \frac{cc_r \ln \left( \frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_K)} \right) - \frac{6k_r c t_K}{a \rho_r}}{cc_r \ln \left( \frac{U_o - T_o}{\Delta T(t_K)} \right) + \frac{6(kc_r - k_r c) t_K}{a \rho_r}};$$

5 где:

$Q$  - массовая доля полезного компонента в контролируемом куске;

$U_o$  - температура нагрева полезного компонента;

$T_o$  - температура нагрева пустой породы;

10  $\rho_r$  - плотность полезного компонента;

$C_r$  - теплоемкость полезного компонента;

$C$  - теплоемкость пустой породы;

$k_r$  - коэффициент теплоотдачи полезного компонента;

$k$  - коэффициент теплоотдачи пустой породы;

15  $t_K$  - интервалу времени от момента прекращения воздействия СВЧ электромагнитного поля до момента регистрации теплового изображения;

$a$  - размер зерна полезного компонента в контролируемом куске;

20  $\Delta T(t_K)$  - разность максимальной и минимальной температуры контролируемого куска в момент регистрации теплового изображения контролируемого куска,

и проверяется условие:

$$Q \geq Q_{\text{пор}}$$

где:

$Q_{\text{пор}}$  - пороговое значение массовой доли полезного  
5 компонента;  
после чего по полученному результату осуществляют сепарацию  
кусков сырья на два потока: один из потоков состоит из кусков с  
массовой долей содержанием полезного компонента меньше  
некоторого заданного порогового значения, а другой из потоков  
10 состоит из кусков с массовой долей содержания полезного  
компонента не меньше того же порогового значения.

6. Устройство термографической кусковой сепарации сырья,  
содержащее, устройство дозированной подачи кусков сырья,  
15 состоящее из приемного бункера, питателя с электроприводом;  
конвейера с электроприводом; установку электромагнитного  
излучения сверхвысокой частоты с системой управления, датчики  
наведенного излучения и вычислительное устройство с  
входным интерфейсом отличающееся тем, что, устройство  
20 дополнительно содержит камеру нагрева энергией  
электромагнитного поля сверхвысокой частоты, подсоединенную  
к установке излучения электромагнитного поля сверхвысокой  
частоты, термографическую систему обработки сигналов  
термодатчиков наведенного теплового излучения, систему  
25 управления электроприводом питателя, валковый раскладчик,  
систему управления электроприводом конвейера, световой  
узконаправленный излучатель и фотоприемник, датчик

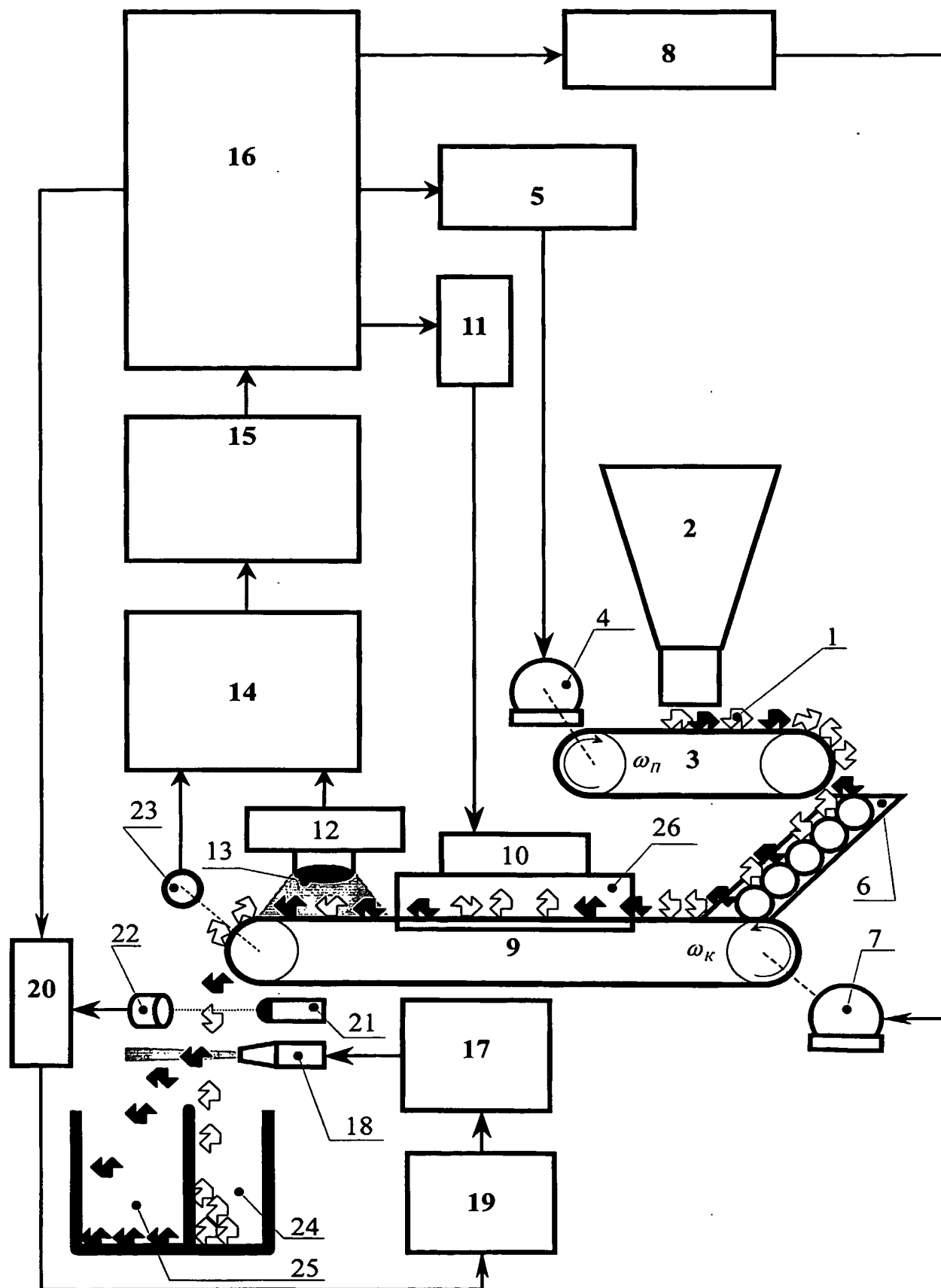
положения, причем выход термографической системы соединен с первым входом входного интерфейса, выход которого соединен через вычислительное устройство с входом выходного интерфейса, а второй выход выходного интерфейса соединен с системой управления электропривода питателя, третий выход выходного интерфейса соединен через систему управления установкой сверхвысокой частоты с ее входом, четвертый выход выходного интерфейса, соединен с системой управления электропривода конвейера, на валу которого установлен датчик положения, соединенный со вторым входом входного интерфейса, при этом первый выход выходного интерфейса через устройство сравнения, блок временной задержки и формирователь импульсов управления связан с электропневмоклапаном, установленным так, чтобы иметь возможность взаимодействовать с разделительным устройством подачи в приемник кусков сырья с содержанием полезного компонента менее порогового значения и приемник кусков сырья с содержанием полезного компонента не менее порогового значения.

20 7. Устройство термографической кусковой сепарации сырья, содержащее устройство дозированной подачи кусков, состоящее из приемного бункера, шнекового питателя с электроприводом; конвейера с электроприводом, установку электромагнитного излучения сверхвысокой частоты с системой ее управления, датчики наведенного излучения, вычислительное устройство с входным интерфейсом отличающееся тем, что, устройство дополнительно содержит камеру нагрева энергией свехвысокой

частоты подсоединенную через элемент ввода энергии  
сверхвысокой частоты к установке излучения энергии  
сверхвысокой частоты, причем в камере нагрева энергией  
сверхвысокой частоты размещен валковый раскладчик,  
5 состоящий из валков из термостойкого диэлектрика, между  
которыми расположены элементы замедляющей гребенки с шагом  
равным  $\frac{1}{4}$  длины волны электромагнитного излучения  
сверхвысокой частоты, а узел выгрузки камеры нагрева энергией  
сверхвысокой частоты снабжен ловушкой энергии сверхвысокой  
10 частоты с четвертьволновыми отражательными элементами,  
кроме того устройство содержит термографическую систему  
обработки сигналов, систему управления электроприводом  
шнекового питателя, систему управления электроприводом  
конвейера, световой узконаправленный излучатель и  
15 фотоприемник, а так же датчик положения, при этом выход  
термографической системы соединен с первым входом входного  
интерфейса, выход которого соединен через вычислительное  
устройство с входом выходного интерфейса, второй выход  
выходного интерфейса соединен с системой управления  
20 электроприводом шнекового питателя, третий выход выходного  
интерфейса соединен через систему управления установкой  
излучения энергии сверхвысокой частоты с ее входом, четвертый  
выход выходного интерфейса соединен с системой управления  
электропривода конвейера, на валу которого установлен датчик  
25 положения, соединенный со вторым входом входного интерфейса,  
при этом первый выход выходного интерфейса через устройство

сравнения, блок временной задержки и формирователь импульсов  
управления связан с электропневмоклапаном, установленным так,  
чтобы иметь возможность взаимодействовать с разделительным  
5 устройством подачи в приемник кусков сырья с содержанием  
полезного компонента менее порогового значения и приемник  
кусков сырья с содержанием полезного компонента не менее  
порогового значения.

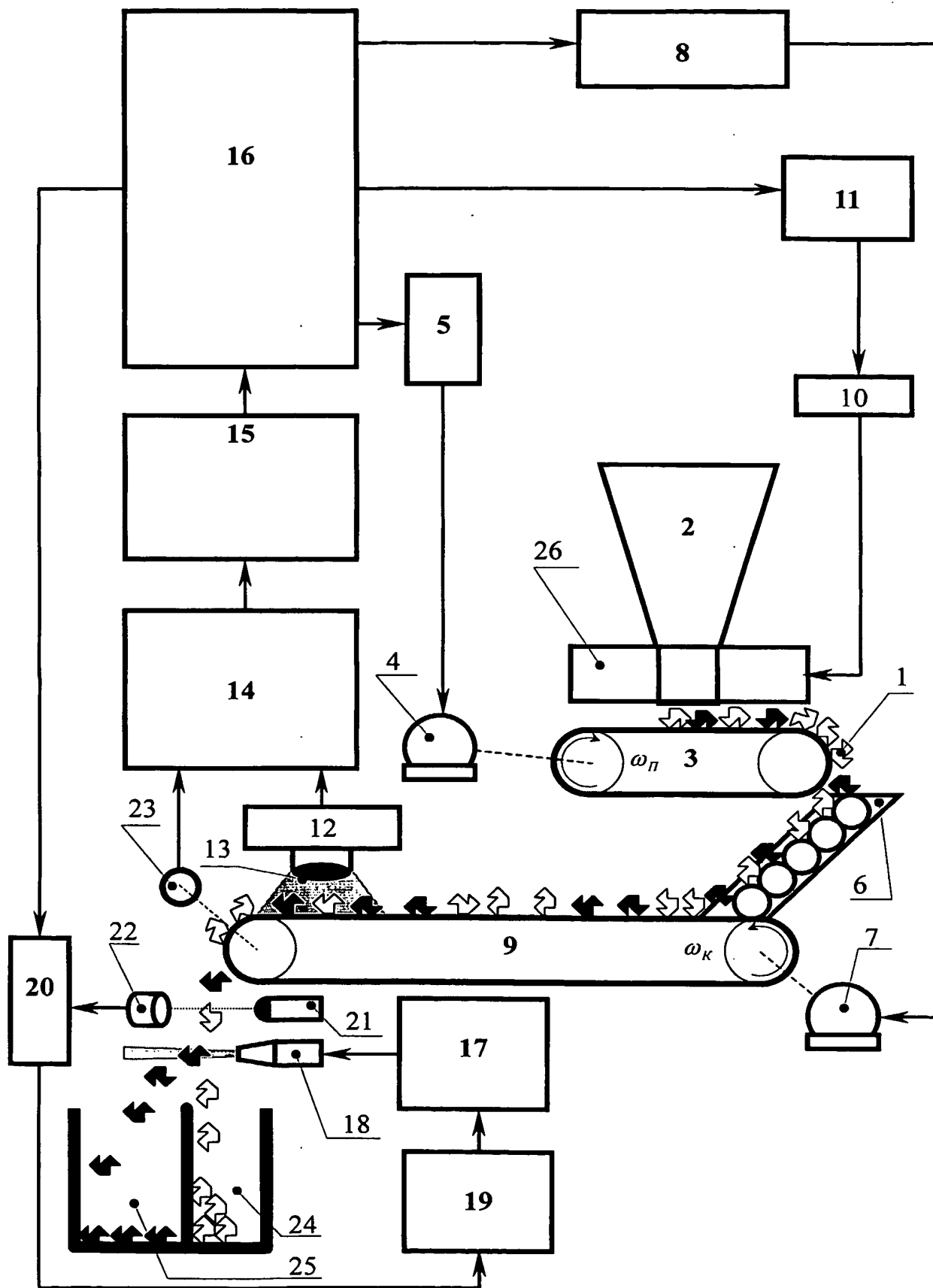
1/6



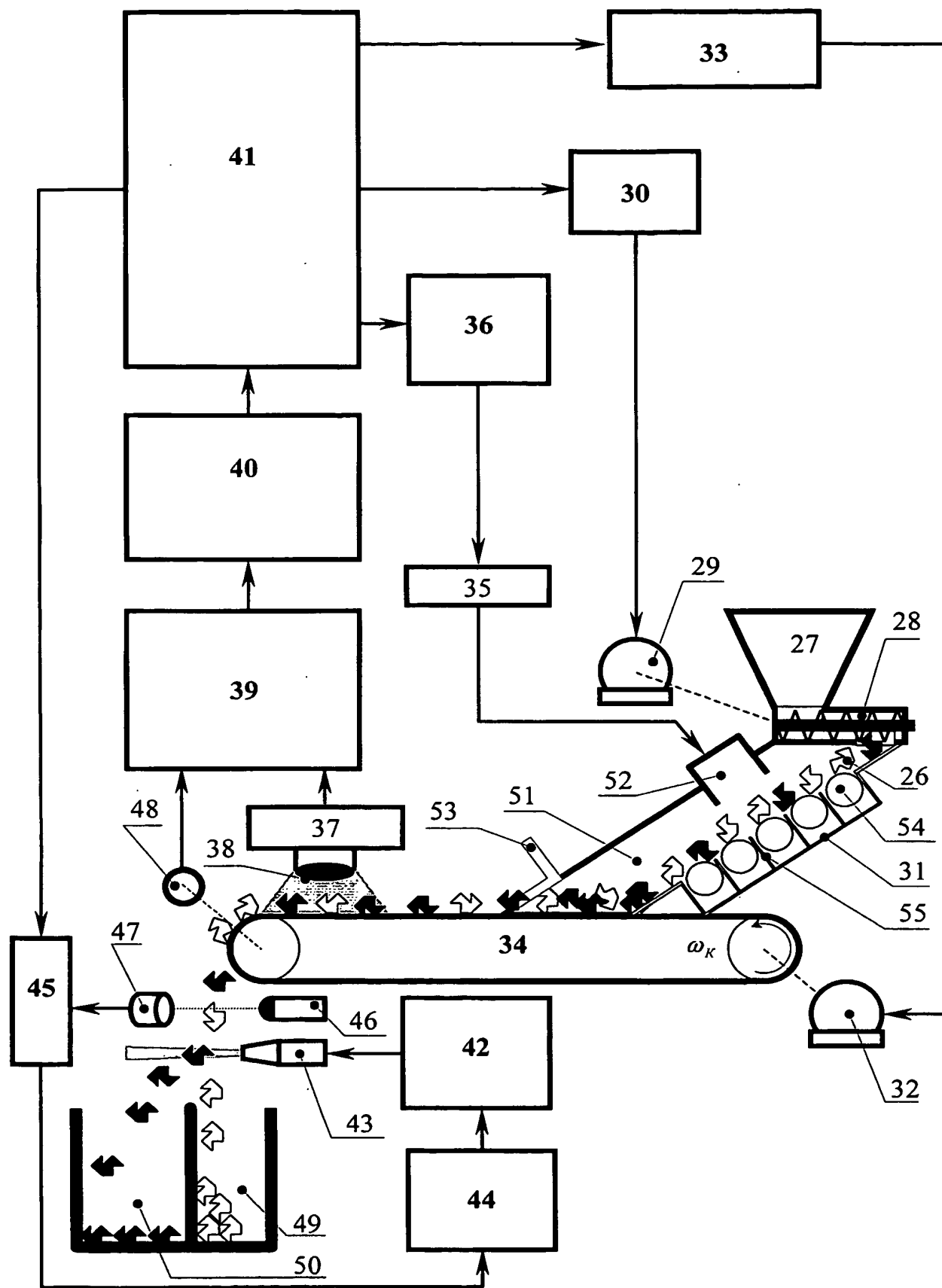
Фиг. 1



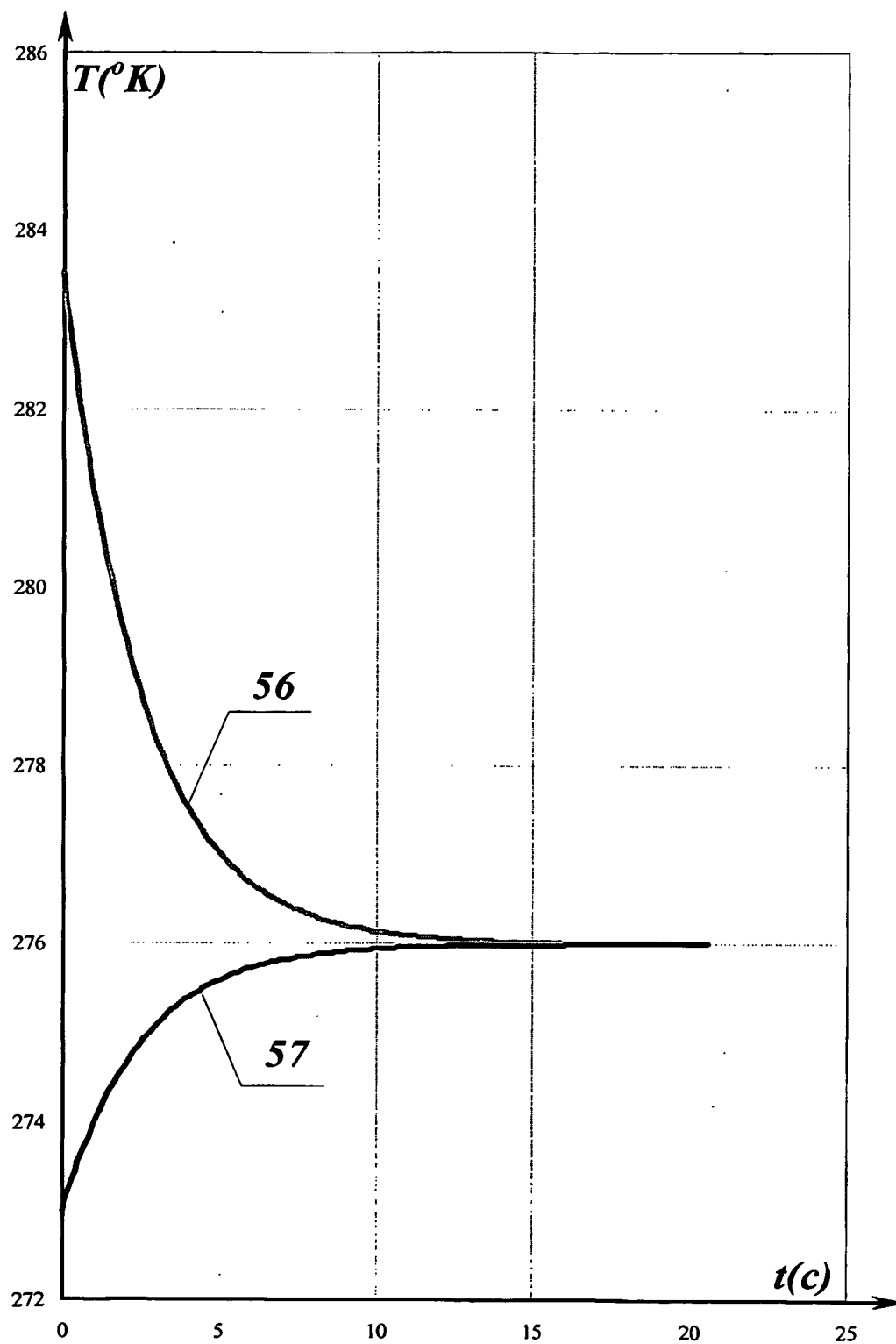
2/6



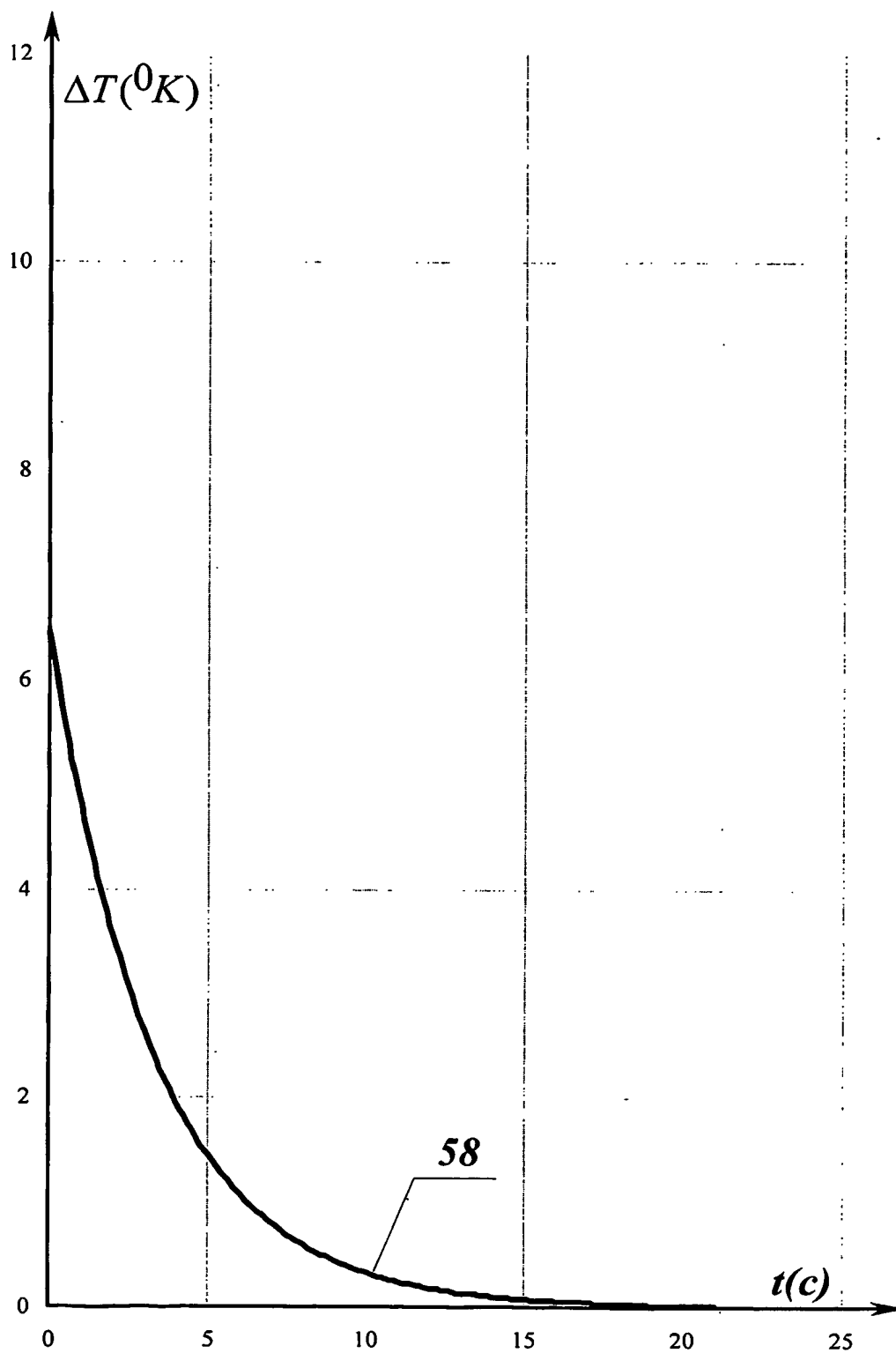
**Фиг.2**



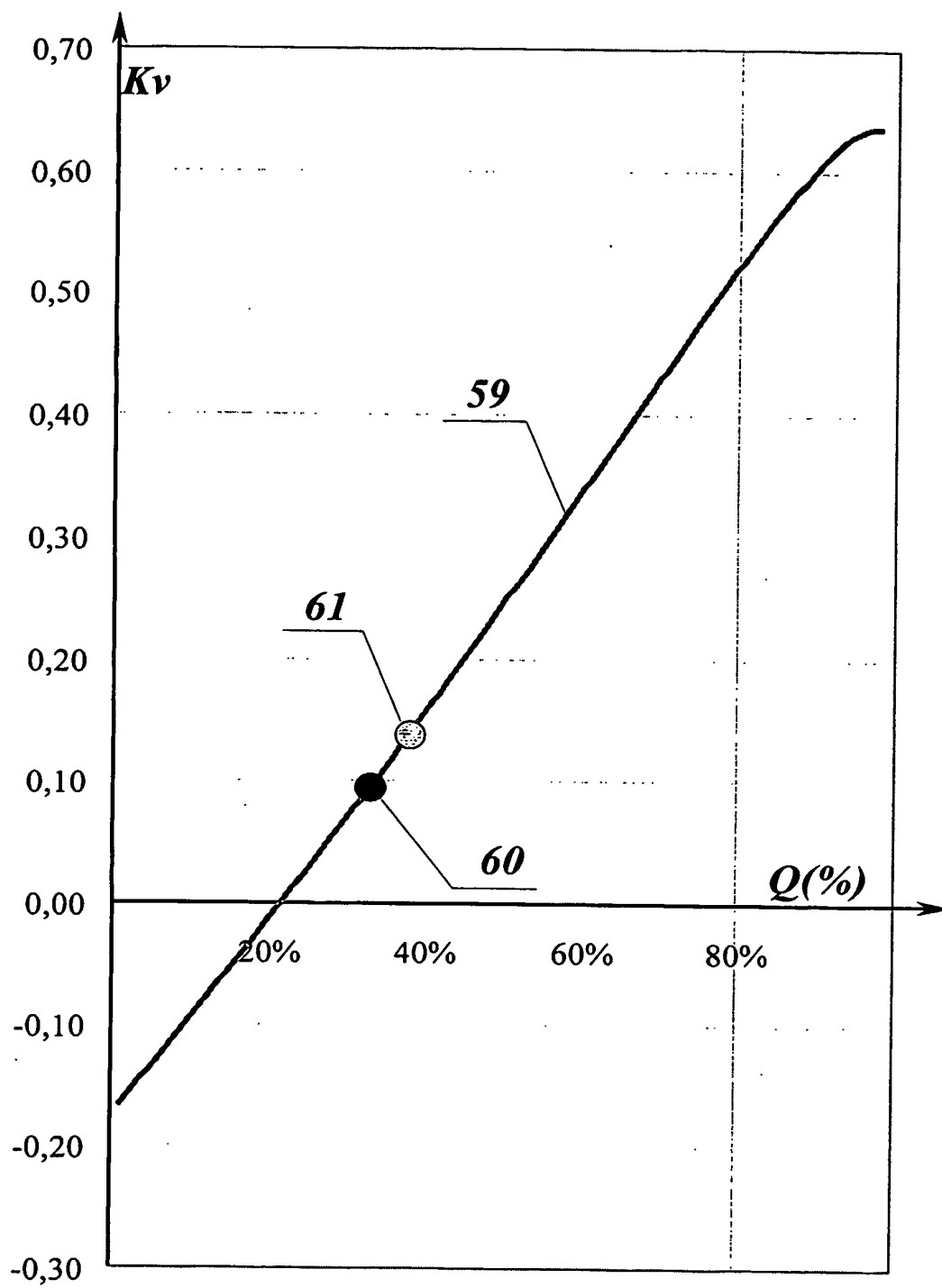
Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/UA 2004/000036

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B03B 13/04, B07C 5/344

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B03B 13/00, 13/04-13/06, B07C 5/00, 5/34, 5/344, 5/346

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	RU 2102162 C1(ZAKRYTOE AKTSIONERNOE OBSHESTVO "INTEGRA") 20. 01. 1998	1-7
A	GB 2278440 A (DE BEERS INDUSTRIAL DIAMOND DIVISION (PROPRIETARY) LIMITED) 30. 11. 1994	1-7
A	SU 1721484 A1 (KOMPLEXNY NAUCHNO-ISSLEDOVATELSKY I PROEKTNO-KONSTRUKTORSKY INSTITUT OBOGASCHENIYA TVERDYKH GORJUCHIKH ISKOPAEMYKH) 23. 03. 1992	1-7
A	SU 1712852 A1 (NAUCHNO-ISLEDOVATELSKY INSTITUT INTROSKOPII TOMSKOGO POLITEKHNICHESKOGO INSTITUTA et al.)	1-7
A	GB 2188727 A (DE BEERS INDUSTRIAL DIAMOND DIVISION (PROPRIETARY) LIMITED) 07. 10. 1987	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 January 2005 (26.01.2005)

Date of mailing of the international search report

17 February 2005 (17.02.2005)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №  
PCT/UA 2004/000036

<b>А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:</b>		
B03B 13/04, B07C 5/344		
Согласно международной патентной классификации (МПК-7)		
<b>В. ОБЛАСТИ ПОИСКА:</b>		
Проверенный минимум документации (система классификации и индексы) МПК-7: B03B 13/00, 13/04-13/06, B07C 5/00, 5/34, 5/344, 5/346		
Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:		
Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (названия базы и, если, возможно, поисковые термины):		
<b>С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:</b>		
Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	RU 2102162 C1 (ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ИНТЕГРА") 20. 01. 1998	1-7
A	GB 2278440 A (DE BEERS INDUSTRIAL DIAMOND DIVISION (PROPRIETARY) LIMITED) 30. 11. 1994	1-7
A	SU 1721484 A1 (КОМПЛЕКСНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ОБОГАЩЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ) 23. 03. 1992	1-7
A	SU 1712852 A1 (НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИНТРОСКОПИИ ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА и др.) 15. 02. 1992	1-7
A	GB 2188727 A (DE BEERS INDUSTRIAL DIAMOND DIVISION (PROPRIETARY) LIMITED) 07. 10. 1987	1-7
<input type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы С. <input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении		
* Особые категории ссылаемых документов: А документ, определяющий общий уровень техники Е более ранний документ или патент, но опубликованный на дату международной подачи или после нее О документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д. Р документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета и т.д. Т более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения Х документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень Y документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории & документ, являющийся патентом-аналогом		
Дата действительного завершения международного поиска: 26 января 2005 (26. 01. 2005)		Дата отправки настоящего отчета о международном поиске: 17 февраля 2005 (17. 02. 2005)
Наименование и адрес Международного поискового органа Федеральный институт промышленной собственности РФ, 123995, Москва, Г-59, ГСП-5, Бережковская наб., 30.1 Факс: 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА		Уполномоченное лицо:  Ю. Борзунова  Телефон № 240-25-91

Форма PCT/ISA/210 (второй лист)(январь 2004)